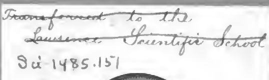


Mittheilungen aus dem maschinen-laboratorium der ...

Königliche Technische Hochschule zu Berlin







MITTHEILUNGEN

AUS DEM

MASCHINEN-LABORATORIUM

DER

KGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZU

BERLIN.

I. HEFT

HERAUSGEGEBEN ZUR HUNDERTJAHRFEIER DER HOCHSCHULE:

DIE MASCHINEN, DIE VERSUCHSEINRICHTUNGEN UND HÜLFSMITTEL DES MASCHINEN-LABORATORIUMS.

VON

PROFESSOR E. JOSSE
VORSTEHER DES MASCHINEN-LABORATORIUMS.

MIT 73 TEXTFIGUREN UND 2 TAFELN.



MÜNCHEN UND LEIPZIG.
DRUCK UND VERLAG VON R. OLDENBOURG.
1899.

VORWORT.

Die Kgl. Technische Hochschule zu Berlin rüstet sich zur Feier ihres Hundertjährigen Bestehens.

Aus kleinen Anfängen entstanden, haben sich die technischen Hochschulen, und mit ihnen die Technik zu einer Höhe und einer Bedeutung entwickelt, die sie eng mit dem wirthschaftlichen Leben der Nation verbinden.

Dank der Fürsorge der Staatsregierung und der thatkräftigen Förderung hervorragender Männer ist in Berlin in den letzten Jahren für das besondere Gebiet des Maschinenbaues ein Institut entstanden, das wie kein anderes dazu geeignet erscheint, ein Bindeglied zwischen der Hochschule und der schaffenden Industrie zu werden, und es ist ein glücklicher Zufall, dass dieses Institut gerade in dem Jahre vollendet werden konnte, das für die Hochschule eine Freude über die bisherigen Erfolge und eine Mahnung bedeutet, rüstig weiter zu arbeiten.

Wenn ich es unternehme, bei dieser Gelegenheit zunächst die Einrichtungen und Ziele dieses Instituts weiteren Kreisen zugänglich zu machen, so wende ich mich dabei an diejenigen, die an den Bestrebungen der Hochschule und an dem Fortschreiten der technischen Wissenschaften ein Interesse nehmen.

In der Beschreibung musste ich mich kurz fassen. Eine erschöpfende Darstellung aller Einzelheiten würde zu umfangreich geworden sein und die Uebersicht erschwert haben. Ich habe daher in ausgiebiger Weise die bildliche Darstellung zu Hülfe genommen.

Da das neue Laboratorium Gelegenheit bietet zu mannigfachen Versuchen und Feststellungen, die wohl auch über den Rahmen der Hochschule hinaus von Interesse sein dürften, so werde ich dieselben in weiteren Heften der »Mitteilungen« veröffentlichen, ohne jedoch dabei ein regelmässiges Erscheinen der Letzteren in Aussicht zu nehmen. Ein zweites Heft konnte dank des Entgegenkommens der Verlagshandlung noch zum Jubiläum fertig gestellt werden.

Charlottenburg, im September 1899.

E. JOSSE.

INHALT.

EINLEITUNG.

Im Jahre 1895 wurde Seitens des preussischen Unterrichtsministeriums beschlossen, an den technischen Hochschulen der Monarchie Maschinenlaboratorien einzurichten, um dem Unterricht im Maschinenbau schon auf der Hochschule die so nothwendige unmittelbare Fühlung mit den praktischen Ausführungen zu geben.

Ueber die Zweckmässigkeit und die Bedeutung der Maschinenlaboratorien für den technischen Unterricht und für wissenschaftliche Forschungen auf dem Gebiete des Maschinenbaues ist schon häufig und von berufenerer Seite geschrieben worden. Ich möchte nur erwähnen, dass die Erwartungen, die man an dieses neue Unterrichtsmittel geknüpft hat, sich in den drei Jahren, in denen der Unterricht jetzt an der Technischen Hochschule zu Berlin besteht, vollkommen bestätigt haben.

Während es damals grosse Anstrengungen gekostet hatte, die Mittel für die Errichtung solcher Laboratorien zu beschaffen, ist jetzt die Ueberzeugung von der Bedeutung und Nothwendigkeit derselben auch in weitere Kreise gedrungen, und an fast allen deutschen technischen Hochschulen sind solche Anstalten theils im Betrieb, theils im Bau.

Es ist mit eines der grossen Verdienste des Herrn Geh. Regierungsrath Riedler um das technische Unterrichtswesen, die maassgebenden Kreise von der Nothwendigkeit der Maschinenlaboratorien überzeugt zu haben.

Für den Bau und die Ausstattung des Maschinenlaboratoriums an der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin wurde Seitens des Kultusministeriums zunächst eine Summe von M. 43000 resp. M. 160900, also insgesammt M. 203900, zur Verfügung gestellt. Zur Leitung des Baues und des Unterrichts im Laboratorium wurde eine neue etatsmässige Professur beantragt und bewilligt, welche dem Verfasser im October 1896 übertragen worden war.

Nachdem das Maschinenlaboratorium, das ursprünglich in sehr bescheidenem Umfange erbaut werden sollte, in Folge besonderer glücklicher Umstände als eines der grössten und reichhaltigsten Institute dieser Art jetzt vollendet ist, dürfte gerade das Jubiläum bei Gelegenheit des 100jährigen Bestehens der Berliner Technischen Hochschule einen begründeten Anlass bieten, die Versuchseinrichtungen und Hülfsmittel dieses neuen wissenschaftlichen Instituts in weiteren Kreisen bekannt zu machen.

Was bei Beginn des Baues (1896) an Vorbildern vorhanden war, verdiente kaum diesen Namen. Es bestanden wohl an einigen Hochschulen kleinere Maschinenanlagen, an

1

welchen in bescheidenem Maasse Versuche ausgeführt werden konnten, z. B. in München, Stuttgart und Darmstadt. Es bestanden auch bereits umfangreiche und mit reichen Mitteln ausgestattete Laboratorien an amerikanischen Hochschulen, welche jedoch mehr nach der physikalischen Richtung hin entwickelt waren, was für unsere Verhältnisse zunächst nicht in Betracht kam, da wir an der Hochschule bereits seit Langem vorzüglich eingerichtete Laboratorien für Physik besassen. Die amerikanischen Ingenieurlaboratorien sind zum grossen Theil eine Verquickung von physikalischen und maschinentechnischen Laboratorien mit Lehrwerkstätten, eine Verschmelzung, bei der das eigentliche Maschinenlaboratorium und seine Aufgaben fast regelmässig zu kurz kamen.

Bei dem Entwurf des Laboratoriums in Berlin, des ersten grösseren Instituts dieser Art, musste daher im Wesentlichen selbständig vorgegangen werden.

Im Vordergrund stand zunächst selbstverständlich der Unterrichtszweck des Laboratoriums. Dasselbe muss den Studirenden Gelegenheit geben, die wichtigeren Maschinen, deren Construction in den Vorträgen behandelt wird, im Betrieb kennen zu lernen, es muss ihnen ermöglichen, das Verhalten der Maschinen und Maschinentheile in Bezug auf Festigkeit und in dynamischer Beziehung und der in den Maschinen thätigen Arbeitsmedien zu studiren, um aus dieser selbst gewonnenen Erkenntniss und Erfahrung Nutzen für ihren künftigen Beruf zu schöpfen. Die Studirenden sollen ferner im Laboratorium den Maschinenbetrieb kennen lernen und zwar ganz besonders die Wirthschaftlichkeit desselben.

Wenngleich der Unterricht somit die Hauptaufgabe des Laboratoriums bildet, so bin ich doch der Ansicht, dass ein solches Institut auch für weitere Kreise (den Professoren der Hochschule zum Beispiel und für die Technik) nützlich werden kann, indem die reichhaltigen Hülfsmittel desselben technische Forschungen ermöglichen, zu denen in den meisten Fällen in der Praxis keine Zeit bleibt oder die Einrichtungen fehlen. Diese Ausdehnung des Wirkungskreises des Laboratoriums beeinträchtigt nicht nur nicht den Unterrichtszweck desselben, sondern kommt ihm in erster Linie zu Gute, indem die Lehrer der technischen Hochschulen, welche, wenn sie nicht in engster Fühlung mit der Praxis bleiben können, den ungeheueren Fortschritten derselben nur mit äusserster Anstrengung zu folgen vermögen, in dem Laboratorium ein Mittel finden, die Verbindung mit der schaffenden Technik in einfachster Weise zu pflegen. Ich habe gerade auf diese Bedeutung des Laboratoriums beim Bau desselben den grössten Werth gelegt, und dieser Gesichtspunkt ist maassgebend gewesen für die ganze Anordnung und Disposition. Nach den Erfahrungen, die jetzt bereits vorliegen, nachdem das Laboratorium kaum vollendet ist, lässt sich bestimmt annehmen, dass diese Ausdehnung des Wirkungskreises desselben sowohl für den Unterricht wie für die technische Forschung von hervorragendem Werth sein dürfte.

Während dies im Grossen und Ganzen die Gesichtspunkte sind, welche bei dem Bau als Richtschnur dienten, so ist zunächst zu entwickeln, welche Forderungen sich aus dem in erster Linie in's Auge zu fassenden unmittelbaren Unterrichtszweck für die Einrichtung des Laboratoriums ergaben. Wie im Constructionsunterricht die Dampfmaschine diejenige Maschine ist, welche den Studirenden zunächst Gelegenheit gibt, sich als Constructeure auszubilden, so musste sie auch im Laboratorium entsprechend ihrer hervorragenden Bedeutung in der heutigen Maschinentechnik und in der Industrie die bedeutsamste Rolle spielen, um so mehr,

als die anderen Wärmekraftmaschinen, z. B. die Gasmaschinen, schon deswegen nicht in den Bereich des Laboratoriums gezogen werden konnten, weil an der Technischen Hochschule bereits ein Gasmaschinenlaboratorium bestand. Somit stand es von Anfang an fest, dass das Hauptunterrichtsmittel für das Laboratorium die Dampfmaschine sein würde und zwar von solcher Grösse, dass die kennzeichnenden Wärmevorgänge in derselben studirt werden konnten.

Es war selbstverständlich, dass man beim Bau der Versuchsmaschinen des Laboratoriums einen Fortschritt erstrebt hat und sich bemühte, dieselben nach der einen oder der anderen Richtung hin fortzubilden. Wenn ich darauf verzichtet habe, bei diesen Dampfmaschinen etwa eine neue Steuerung in die Welt zu setzen, und wenn ich dieselben nach der wärmetechnischen Seite hin entwickelt habe, so ist damit die Möglichkeit weitgehender technischer Forschungen, welche das Laboratorium bietet und deren Nothwendigkeit ich oben angedeutet habe, unmittelbar gegeben.

Es trat nun weiter die Frage auf, wie diese Kraftmaschinen zu belasten wären. Im Gegensatz zu anderen Laboratorien habe ich darauf verzichtet, die Dampfmaschinen lediglich durch Bremsen zu belasten. Trotzdem es gelungen ist, vorzügliche Bremsen nach Art von umgekehrten Turbinen zu bauen, so habe ich doch davon Abstand genommen, weil diese Bremsen im Betrieb entweder unbequem oder wenn vollkommen, in der Anschaffung sehr kostspielig sind. Ferner erscheint es mir unwirthschaftlich, die Energie dauernd auf diese Weise zu vernichten. Ich habe daher die Kraftmaschinen des Laboratoriums sämmtlich nutzbar belastet, indem ich durch sie Dynamos, Pumpen, Luftcompressionsmaschinen etc. antreiben lasse. Wenn ich somit bei einzelnen Maschinen von vornherein auf die gewöhnliche Feststellung des mechanischen Wirkungsgrades mittels Bremsen verzichtet habe und diese Maschinen durch Dynamos etc. belaste, so hat diese Anordnung doch den grossen Vortheil, dass ich einerseits die Dampfmaschinen als Untersuchungsobjecte zur Verfügung habe, andererseits die Möglichkeit besitze, Studien an den angetriebenen Maschinen zu machen (Dynamomaschinen, Pumpen, Compressoren, Gebläse etc.).

In dieser Anordnung liegt noch ein weiterer Vortheil, der namentlich von Bedeutung ist für die Untersuchung von Maschinen, welche Seitens der Maschinenindustrie dem Laboratorium zeitweise überlassen werden. Ich meine den Umstand, dass man nun in dem Laboratorium die Energie nicht nur in Form von Dampfkraft zur Verfügung hat, sondern auch in Form von elektrischem Strom, Druckwasser und Druckluft. Damit ist der Betrieb und die Untersuchung von Elektromotoren und elektrisch angetriebener Maschinen aller Art, Turbinen, Wassermotoren und Luftmaschinen mit in den Bereich des Laboratoriums hineingezogen. Es ist ferner damit eine weitere Ausdehnung der Thätigkeit desselben gegeben, indem nun auch sämmtliche Kraftübertragungen, welche die Technik heute kennt und benutzt, das sind Uebertragungen durch elektrischen Strom, durch Druckwasser und durch Druckluft, zur Benutzung, Vorführung und Untersuchung zur Verfügung stehen.

Durch diese in grossen Umrissen skizzirte Einrichtung des Laboratoriums, welche sich nach den ursprünglichen Plänen im Wesentlichen nur auf Dampfmaschinen beschränken sollte, ist nicht nur der Wirkungskreis desselben ungeheuer erweitert, sondern es ist auch ein wirthschaftlicher Betrieb ermöglicht worden, soweit von einem solchen in einem Laboratorium überhaupt die Rede sein kann.

Während die eben gesagten Gesichtspunkte vornehmlich maassgebend waren für die Art der aufzustellenden Maschinen, kommt für die zu wählende Disposition Folgendes in Betracht.

Der Bau des Laboratoriumsgebäudes, die Anschaffung von Maschinen, welche heute als vollkommen gelten, in einigen Jahren aber vielleicht veraltet sind, kosten erhebliche Summen, und es wäre nicht angängig gewesen, diese Maschinen alle paar Jahre umzubauen resp. auszuwechseln. Ich habe deshalb darauf gerechnet, dass die theuersten Objecte, die grösseren Dampfmaschinen mit den direct angetriebenen Arbeitsmaschinen, mir die Energie in Form von elektrischem Strom, Druckluft und Druckwasser auf lange Jahre werden überlassen müssen, und ich habe diese daher fest, wie gewöhnlich aufgestellt. Anders verhält es sich mit den kleineren Maschinen und den Motoren. Die Anschaffungskosten derselben sind nicht so erheblich. Es besteht die Möglichkeit, sie im Laufe der Jahre ersetzen zu können, um eventuell Fortschritten der Technik Rechnung zu tragen. Diese Maschinen sind daher nicht fest montirt, die Fundamente und Rohrleitungen sind vielmehr so angeordnet, dass die Maschinen mit Leichtigkeit aufgestellt und nach der Untersuchung wieder weggenommen werden können. Es sind zu diesem Zweck in dem Laboratorium gusseiserne Roste, Rohr- und Abflusscanäle zur Aufnahme von Leitungen aller Art ausgeführt, welche gestatten jede beliebige Maschine bis zu einigen 100 PS. in dem Laboratorium zu untersuchen.

Diese Anordnung ist von sehr grossem Werth. Für die Studirenden hat sie den grossen Vorteil, dass sie ihnen Gelegenheit gibt, selbst Maschinen zu montiren resp. der Montage beizuwohnen, und dass die beständigen Veränderungen, welche in der Aufstellung der Maschinen möglich und nöthig sind, in erhöhtem Maasse auf sie anregend wirken. Auch für die Leistungsfähigkeit des Laboratoriums und seine Verbindung mit der Maschinentechnik ist diese Einrichtung von grossem Nutzen, da sie ermöglicht, in demselben Maschinen irgendwelcher Art aufzustellen und zu untersuchen. Trotzdem das Laboratorium kaum vollendet ist, so sind doch in dieser letzteren Beziehung bereits eine ganze Reihe von Versuchen gemacht, welche beweisen, wie wichtig gerade dieser Gesichtspunkt für die Maschinenlaboratorien zu werden verspricht.

Somit wird das Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule in Berlin, wie es projectirt und gebaut wurde, niemals eine fertige in sich geschlossene Anstalt, wie etwa ein physikalisches oder elektrotechnisches Laboratorium, sein, sondern es ist im Wesentlichen eine grosse Maschinen- und Montagehalle, in der es eben auch wie in einer solchen aussieht.



Fig. 1.

A. Gebäulichkeiten.

1. Das Laboratoriumsgebäude.

Für die Zwecke des Maschinenlaboratoriums war nach den ursprünglichen Plänen eine Halle von 20 m Länge und 10 m Breite in dem Park der Technischen Hochschule mit der Front an der Kurfürstenallee und nahe dem vorhandenen Kesselhaus errichtet worden. In diesem sehr knapp bemessenen Raum sollten nicht nur die Maschinen untergebracht, sondern auch noch zwei Nebenräume abgetheilt werden zur Aufnahme von Versuchs- und Messapparaten und von Werkzeugen, Oel etc. Obgleich vorauszusehen war, dass dieser Raum nicht genügen würde, so musste man sich doch damit zufrieden geben, da die zur Verfügung stehende Bausumme nur auf Kosten der Mittel für die innere Einrichtung hätte vergrössert werden können. Man hatte daher wenigstens bei der Errichtung der ursprünglichen Halle auf eine spätere Vergrösserung Bedacht genommen und deshalb die Höhe derselben so reichlich gewählt, dass grosse vertikale Maschinen aufgestellt und mit dem Laufkrahn bedient werden konnten.

In Folge eines besonderen glücklichen Umstandes konnte die Vergrösserung des Laboratoriumsgebäudes schon früher ermöglicht werden, als man zu hoffen wagte.

Im Herbst 1897 bot Herr Geh. Regierungs-Rath A. Riedler dem Laboratorium mehrere grosse Dampfmaschinen im Gesammtwerthe von M. 120000 zum Geschenk an. Diese Maschinen konnten in dem vorhandenen Gebäude nicht untergebracht werden. Wollte man daher auf das hochherzige Geschenk, das eine wesentliche Bereicherung der Unterrichtsmittel des Laboratoriums bildete, nicht verzichten, so musste das Laboratoriumsgebäude erheblich vergrössert werden.

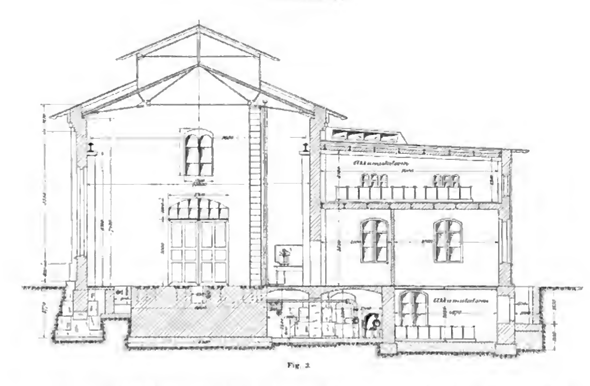


Fig. 2.

Ohne Weiteres war eine Bewilligung von Mitteln zur Vergrösserung der Maschinenhalle, nachdem der ursprüngliche Bau kaum vollendet war, nicht zu erreichen, und es wurde daher auf meinen Antrag dem vorgesetzten Herrn Minister vorgeschlagen, die Riedlerschen Maschinen nicht nur für die Unterrichtszwecke des Laboratoriums zu benutzen, sondern dieselben mit Dynamos zu belasten und gleichzeitig als Lichtmaschinen zu der lang ersehnten elektrischen Beleuchtung der Hör- und Zeichensäle der Technischen Hochschule zu verwerthen.

Es war dabei vorausgesetzt, den während des Maschinenbetriebs für Uebungszwecke gewonnenen Strom in einer genügend grossen Accumulatorenbatterie aufzuspeichern und beliebig für Beleuchtungszwecke zu verwenden.

Die Belastung der Dampfmaschinen durch Dynamos gestattete daher die Erzeugung von elektrischem Strom und die Nutzbarmachung desselben für die Beleuchtung der Technischen Hochschule ohne besonderen Aufwand gewissermaassen als Nebenproduct des Unterrichtsbetriebs. Hierdurch wurden die Erzeugungskosten des elektrischen Lichts, als zum grossen Theil inbegriffen in den so wie so aufzuwendenden Betriebskosten des Laboratoriums, äusserst gering, so dass sich sogar erhebliche Ersparnisse gegenüber der mangelhaften alten Gasbeleuchtung erwarten liessen, die noch nicht einmal eine Ausnutzung sämmtlicher Tische der Zeichensäle ermöglichte.

Zudem wurden durch die Schenkung der Riedler'schen Maschinen und eines grossen Dampfkessels Seitens der Firma A. Borsig in Berlin die Anlagekosten der elektrischen Beleuchtungsanlage ganz bedeutend vermindert.

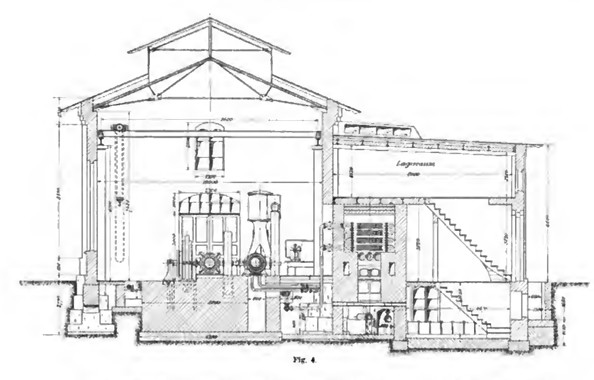


Fig. 4.

Diesen Gesichtspunkten schloss sich das Ministerium an, und es wurden daher im Jahre 1898 zur Erweiterung des Laboratoriumsgebäudes und Einrichtung der elektrischen Beleuchtung mittels indirecten Bogenlichts in den Hör- und Zeichensälen weitere M. 218000 zur Verfügung gestellt.

Jetzt war es möglich, das Gebäude ganz wesentlich zu vergrössern und den Bedürfnissen entsprechend zu gestalten. Die vorhandene Breite der Maschinenhalle von 10 m musste aus verschiedenen Gründen beibehalten werden, dagegen wurde die Länge auf 55,5 m ausgedehnt, so dass ein stattlicher, durchgehends von einem Laufkrahn bestrichener Raum von 555 qm Grundfläche und 7,5 m Höhe der Laufkrahnschiene über Flur für die Aufstellung der Maschinen zur Verfügung stand.

Die Nebenräume zur Aufnahme der Messapparate, Accumulatoren, der Zimmer für Professor, Assistenten und Maschinisten wurden in einem besonderen zweistöckigen Anbau von 21 m Länge und 8 m Breite auf der Nordseite der Maschinenhalle untergebracht.

Der ganze Bau, dessen Ansicht von dem Hauptgebäude der Hochschule aus in Fig. 1 und dessen Grundriss in Fig. 2 (Tafel I) dargestellt ist, wurde im Ziegelrohbau ausgeführt. Die langen Seitenwände sind durch kräftige Pfeiler gestützt, auf denen auch die I-Träger für den Laufkrahn ruhen. Das Dach ist als Holzcementdach ausgeführt und mit einer Laterne versehen, die in der ganzen Länge des Gebäudes durchgeführt ist, um dem Raum Oberlicht zu geben und eine kräftige Ventilation zu ermöglichen.

Der Querschnitt der Maschinenhalle und des Anbaus ergibt sich aus Fig. 3 und 4, die Disposition der Räume in letzterem erhellt aus Fig. 2 (Tafel I).

An den beiden Giebelseiten der Maschinenhalle sind grosse Einfahrtsthore vorgesehen, namentlich an der Ostseite, durch welche mit Maschinen beladene Wagen unmittelbar in das Laboratorium hineingeschoben und mittels des Laufkrahnes bequem ent- und beladen werden können.

Der Haupteingang in das Laboratorium befindet sich auf der Nordseite im Anbau.

Durch einen als Windfang dienenden Vorraum, von dem Treppen in das Keller- und in das erste Geschoss des Anbaus führen, gelangt man in den Garderoberaum, in dem Wasch- und Garderobe-Einrichtungen für die Studirenden vorgesehen sind (siehe Fig. 2, Tafel I und 4).

In dem Keller und in einem Theil des ersten Stockes des Seitenbaus sind die Accumulatorenbatterien für die Beleuchtungsanlage der Hochschule untergebracht. Der übrigbleibende grössere Theil des ersten Stockes dient als Aufbewahrungsraum für kleinere Maschinen und als Lagerraum für Materialien, Oel etc.

Mit Rücksicht auf die starke Belastung der Decken durch Accumulatoren und Maschinen sind dieselben aus T-Trägern mit zwischenliegenden Gewölben ausgeführt.

Um das Herauf- und Herunterschaffen der Maschinen etc. aus der Maschinenhalle in den im ersten Stock gelegenen Lagerraum zu erleichtern, ist in gleicher Höhe mit dem Fussboden desselben eine Bühne aus Schmiedeeisen angebracht, auf welcher die Gegenstände mittels des Laufkrahnes abgelegt werden können. (Siehe Fig. 2, Tafel I: Grundriss, I. Stock.)

Im Parterre des Anbaues befinden sich ausser dem Professorenzimmer, ein Raum für die Maschinisten, ein Raum zur Aufstellung eines Dampfüberhitzers und zwei Zimmer, welche zur Aufnahme von Messinstrumenten und von Zeichentischen für die Assistenten dienen.

Die ganze Breite des Kellerraumes im Anbau konnte für die Unterbringung von Accumulatoren nicht benutzt werden, weil der vorhandene Dampfcanal für die Heizung (siehe Fig. 2, Tafel I) nicht verlegt werden konnte und durch den Keller hindurchgeführt werden musste. Es wurde deshalb der Accumulatorenraum an der Heizdampfleitung durch eine Mauer sorgfältig abgeschlossen, um schädlichen Einfluss der Säuredämpfe auf die Dampfrohre zu vermeiden, und der übrig bleibende Theil des Kellerraumes zur Aufnahme von Rohrleitungen vorgesehen. (Siehe Fig. 2, Tafel I, 3 und 4.)

Ebenso wurde der an diesen Rohrkeller angrenzende Raum der Maschinenhalle zur Aufnahme von Rohrleitungen unterkellert.

Während im Allgemeinen die Rohrleitungen im Laboratorium in Canälen verlegt wurden, ergab sich die Unterkellerung an dieser Stelle aus der Nothwendigkeit, eine grosse Anzahl von Rohren unterzubringen, deren Zugänglichkeit bei der Unterbringung in Rohrcanälen ungenügend gewesen wäre, und aus dem Umstand, dass von diesem Kellerraum die Auslassventile einer horizontalen Dampfmaschine zugänglich sein mussten. Die Rohrkeller sind zugänglich durch eine rechts vom Eingang in die Maschinenhalle befindliche Treppe.

An den Kellerraum zur Aufnahme der Rohrleitungen, der sich über die ganze Länge des Anbaues erstreckt, schliessen sich links und rechts Rohrcanäle, die, mit Riffelblech abgedeckt, von oben aus bequem zugänglich sind. Sonst ist der Fussboden der Maschinenhalle nirgends unterkellert, abgesehen von einem kleineren Raum, der bei dem östlichen Einfahrtsthor zur Unterbringung von Wasserabscheidern und Messgefässen ausgeschachtet wurde; sämmtliche Fundamente sind massiv aufgemauert.

Für die Unterbringung der endgültig verlegten Dampf-, Pressluft- und Druckwasserleitungen, sowie der nur zeitweise für bestimmte Versuche einzubauenden Röhren sind zahlreiche Canäle vorgesehen.

Wasser und Gas ist an jeder Stelle des Laboratoriums durch zahlreiche Anschlusshähne zur Verfügung; ferner sind an geeigneten Stellen Waschbecken angebracht.

Die Fundamente sind sämmtlich in Cementmauerwerk ausgeführt; es sind fast überall nur gusseiserne Anker verwendet. Die Maschinenhaussohle ist mit Cement abgeglättet, der theilweise mit Linoleum belegt ist.

Zwischen den Hauptrohrcanälen und den Umfassungsmauern ist in Asphalt verlegter Stabfussboden ausgeführt.

Dieser Fussboden ist sehr solid und gestattet das Ablegen selbst schwerer Maschinentheile. Es werden hier in der Regel die leicht transportablen Tische der Studirenden aufgestellt, auf denen sie die gewonnenen Versuchsresultate unmittelbar während der Uebungen ausrechnen. Diese Tische, aus Tischplatte und zwei Böcken bestehend, werden immer nur nach Bedarf aufgestellt, so dass sie wenig Raum in Anspruch nehmen.

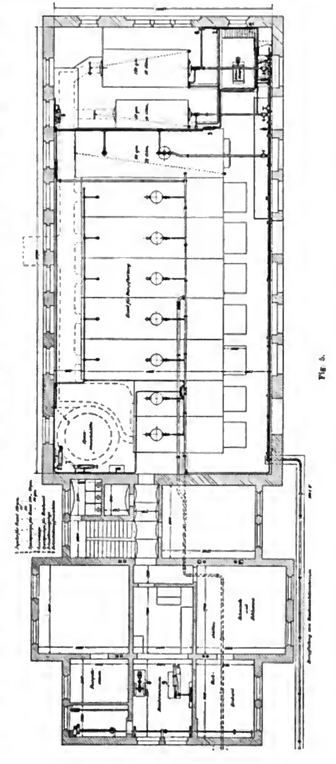


Fig. 5.

2. Das Kesselhaus.

Um die Kosten zur Herstellung eines neuen Kesselhauses und eines Schornsteins zur ersparen, wurden die Hochdruckdampfkessel für das Laboratorium in dem vorhandenen, dem Laboratorium benachbarten Kesselhaus der Hochschule untergebracht. In diesem Kesselhaus sind die Kessel für die Dampfheizung des Hochschulgebäudes untergebracht, sowie die Reparaturwerkstätte, Schmiede,

Canalisationspumpen etc. Der noch zur Verfügung stehende Platz reichte gerade für die Dampfkessel des Laboratoriums aus. Der Grundriss des Kesselhauses ist in Fig. 5 dargestellt. Fig. 6 gibt den Lageplan von Kesselhaus und Laboratoriumsgebäude.

Um den Maschinen- und Kesselbetrieb der Hochschule einheitlich zu gestalten, wurde dem Vorsteher des Maschinenlaboratoriums auf seinen Antrag auch die Betriebsleitung über die übrigen Maschinenanlagen der Hochschule für Heizung und Lüftung übertragen. Hierdurch konnten die Nebenräume des Kesselhauses für das Laboratorium mit nutzbar gemacht werden.

In diesen Nebenräumen befinden sich die Reparaturwerkstätte des Laboratoriums, bestehend aus Schlosserei, Schmiede und Dreherei, sowie ein Raum für die Betriebsmaschine der Canalisationspumpen, die mit für den Unterricht herangezogen wird.

Ein Nachtheil der Benutzung des vorhandenen Kesselhauses für die Zwecke des Laboratoriums ist die grosse Entfernung der Dampfkessel von der Maschinenhalle, was weniger für den Maschinenbetrieb als für den Unterricht lästig empfunden wird.

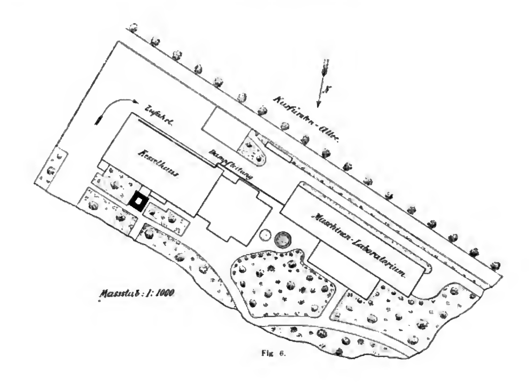


Fig. 6.

B. Die Dampfkesselanlage und die Versuchseinrichtungen im Kesselhaus.

Für den Maschinenbetrieb des Laboratoriums sind drei Kessel aufgestellt und zwar: Ein Flammrohrkessel von 80 qm Heizfläche für 12 kg/qcm Ueberdruck, gebaut von der Actiengesellschaft Paucksch, Landsberg a. W., ein Wasserrohrkessel Bauart Heine von 150 qm Heizfläche und 18 kg/qcm Dampfdruck und ein ebensolcher von 50 qm Heizfläche und 10 kg/qcm Dampfdruck.

Die beiden letzteren sind von der Firma A. Borsig, Berlin, gebaut, welche den grösseren in dankenswerther Weise als Geschenk überlassen hat.



Fig. 7.

Die Ansicht der Kessel geht aus Fig. 7 hervor.

Zur Speisung der beiden Borsig-Kessel dienen zwei Injectoren und eine von Klein, Schanzlin & Becker, Frankenthal gelieferte Duplex-Differentialspeisepumpe für max. 20 kg/qcm Druck, welche das Wasser aus zwei geaichten, rechteckigen Behältern entnimmt.

Diese Behälter dienen zur Messung des Speisewassers und können durch Hähne beliebig mit der Pumpe oder den Injectoren verbunden werden.

Der Abdampf der Speisepumpe kann entweder unmittelbar ins Freie geleitet oder zwecks Vorwärmung des Speisewassers durch in den Messbehältern befindliche Schlangenrohre geführt werden. Das Speisewasser wird den Behältern aus der Wasserleitung zugeführt.

Mit Rücksicht auf die verschiedene Grösse und die abweichenden Dampfdrücke der Kessel sind für jeden derselben besondere Injectoren vorgesehen. Durch diese Anordnung lassen sich bequem Versuche mit Injectoren in Bezug auf Ansaugen, Lieferung etc. mit kaltem und warmem Wasser ausführen.



Fig. 8.

Die Anordnung der Rohrleitung ist derart getroffen, dass jeder Injector nur von der Dampfleitung des zugehörigen Kessels gespeist werden kann.

Dies ist nothwendig, um bei Dampfverbrauchsversuchen den Betriebsdampf des Injectors aus dem zu untersuchenden Kessel entnehmen zu können, ferner weil die Dampfdrücke der Kessel so ausserordentlich verschieden sind.

Die Anordnung der Speisewasserbehälter in Verbindung mit der Speisepumpe und den Injectoren für die beiden Heinekessel ergibt sich aus Fig. 8.

Die Kessel sind vorläufig an eine Hauptdampfleitung von 100 mm l. W. angeschlossen. Es ist jedoch vorgesehen, eine zweite Hauptdampfleitung anzubringen, wenn die Zunahme des Betriebs es erfordert. Die beiden Leitungen sollen dann zu einer Ringleitung vereinigt werden.

Jeder der Kessel ist durch Absperrventile, welche durch eine mit Treppe versehene Galerie (Fig. 8) bequem zugänglich sind, von der Hauptdampfleitung abzusperren. Der in dem Laboratorium benutzte Dampfdruck schwankt jeweilig nach den in Betrieb befindlichen Maschinen resp. den in Aussicht genommenen Versuchen von 8 bis 18 kg/qcm.

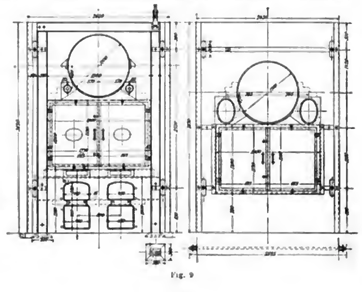


Fig. 9

An Pyrometern sind Graphitpyrometer und das thermoelektrische von Lechatelier im Gebrauch.

Für Versuchzwecke sind an den Kesseln verschiedene Oeffnungen vorgesehen zur Einführung von Pyrometern und zur Entnahme von Rauchgasen für die Gasanalyse.

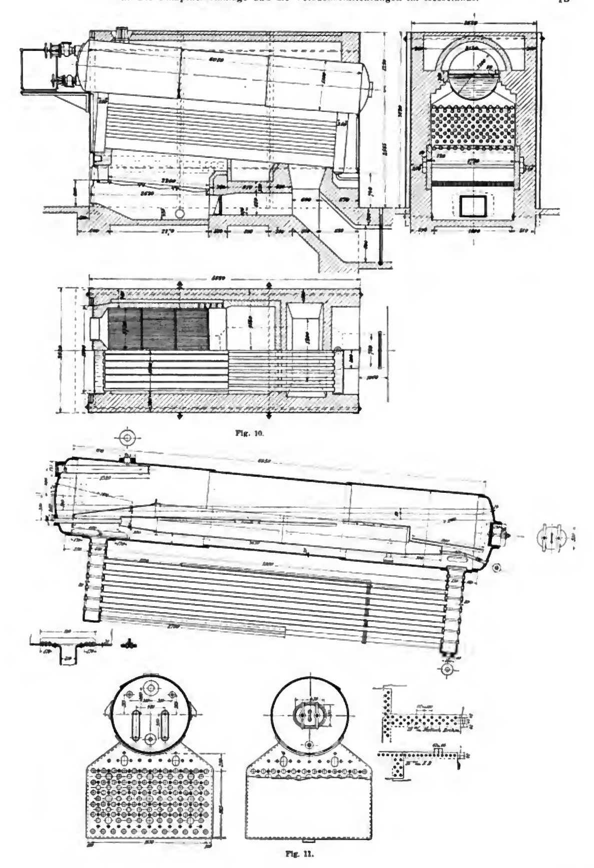
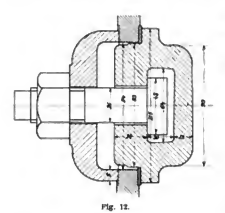


Fig. 10.

Fig. 11.

Die Analyse der Rauchgase wird mittels der Bunte'schen Burette ausgeführt, welche diese Versuche in einfacher und praktischer Weise zulässt.

Zur dauernden Controlle der Zusammensetzung der Rauchgase während des Betriebs ist ferner noch eine von Custodis in Düsseldorf gelieferte Gaswaage (Fig. 8 links) aufgestellt. Der Heizwert der Kohlen wird mittels der Mahlerschen Bombe bestimmt.

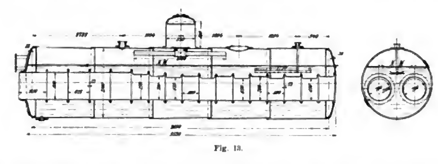

Fig. 12.

Für die Speisung des Pauck'schen Kessels ist eine besondere Speisepumpe, welche von der Firma Weise & Monski, Halle a. S., der Hochschule als Geschenk überlassen wurde, aufgestellt, die jedoch das Speisewasser nicht aus dem Behälter entnimmt, sondern aus einer Cisterne des Kesselhauses, in welcher im Winter das warme Condenswasser aus der Heizung gesammelt wird. Ausserdem ist für den Kessel ebenfalls ein Injector in Verwendung, der für Verdampfungsversuche mit den Messgefässen in Verbindung gesetzt werden kann.

Die Bauart und die Hauptabmessungen des grossen Heine-Kessels, die wegen des ungewöhnlich hohen Betriebsdrucks von 18kg/qcm Ueberdruck Interesse bieten dürften, ergeben sich aus Fig. 9 und 10, die Constructionseinzelheiten des Kessels aus Fig. 11, die Bauart der Rohrverschlüsse aus Fig. 12. Das Gewicht des Kessels beträgt 16000 kg.

Der Pauck'sche Kessel, der sehr sauber ausgeführt ist, hat zwei Flammrohre Pauck'scher Bauart, aus einzelnen versetzten Schüssen von verschiedenem Durchmesser zusammengesetzt. Die Abmessungen des Kessels sind aus Fig. 13 ersichtlich.

In den seitlichen Rauchzügen desselben sind Verschlussklappen angebracht, welche durch Gestänge mit den Feuerthüren so gekuppelt sind, dass beim Oeffnen der Letzteren die


Fig. 13.

Klappen geschlossen werden. Hierdurch wird das Durchströmen kalter Luft beim Aufwerfen wesentlich vermindert. Das Gewicht des Kessels beträgt 26 700 kg. Die Verbrennung ist sehr gut, die Feuerung entwickelt nur ganz schwachen Rauch.

Bei der Bedeutung der Rauchverminderung in Dampfkesselfeuerungen sind in neuester Zeit diesbezügliche Versuche vorgenommen worden,

Der kleine Heine-Kessel ist mit einer Gas-Vorfeuerung, Patent Axdorfer, versehen worden, Fig. 14, wodurch absolute Rauchlosigkeit erzielt wurde. Die Feuerung besteht aus zwei Ver-

gasern, in welche das Brennmaterial durch verschliessbare Trichter eingeführt wird. Die zur Verbrennung des erzeugten Gases dienende Luft wird in Canälen um den Vergaser herumgeführt und dadurch hoch erwärmt. Warme Luft und Gas werden durch den Mischkasten

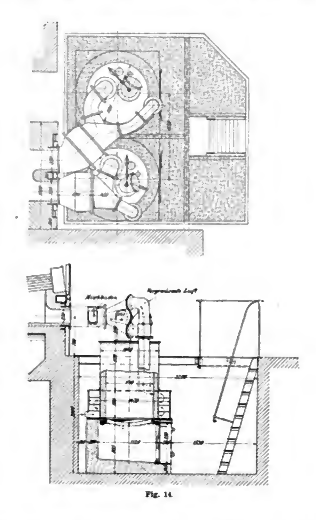


Fig. 14.

gemischt und in dem Verbrennungsraum entzündet. Die genauen Versuchsergebnisse werden in einem späteren Heft der »Mittheilungen« veröffentlicht werden.

Der grosse Heine-Kessel ist in neuester Zeit mit Fröhlich'scher Rauchverzehrung ausgerüstet worden. Die Versuche mit dieser Feuerung sind noch nicht abgeschlossen.

C. Disposition der Maschinen und Anordnung der Rohrleitungen.

Fig. 2 (Tafel I).

Wie schon Eingangs erwähnt, ist die Aufstellung der Maschinen derart getroffen, dass die grösseren Dampfmaschinen, welche Dynamos antreiben, d. i. die Vierfach-Verbundmaschine 1 und die Dreifach-Verbundmaschine 2, ferner die Verbundmaschine 5, mit der direct gekuppelten grossen Pumpe 6 fest montirt und vergossen sind. Dasselbe gilt auch von der Wolf'schen Verbundlocomobile (10). Abgesehen von einigen kleineren Dampfpumpen und Dampfcompressoren, sind alle übrigen Maschinen in dem Laboratorium nicht fest montirt, sondern auf gusseisernen Rosten aufgestellt, so dass sie nach Ausführung der betreffenden Versuche leicht wieder weggenommen werden können. In dem Grundriss (Fig. 2, Tafel I) sind deshalb diese nur zeitweise aufgestellten Maschinen nicht eingezeichnet, sondern es sind nur die Roste und die Rohrleitungen angegeben.

Die bis jetzt eingebauten gusseisernen Roste sind in der Fig. 2, Tafel I angegeben. Die Fundamente der beiden letzten Felder der Maschinenhalle sind noch nicht ausgeführt, teils aus Mangel an Mitteln, teils weil es auch zweckmässig erschien, die weitere Entwicklung des Laboratoriums abzuwarten.

Aus denselben Gründen führt vorläufig nur eine Hauptdampfleitung *a* von 100 mm l. W. für 20 kg/qcm Dampfdruck vom Kesselhaus nach dem Laboratorium (siehe auch Fig. 6). Die Leitung ist aus Schmiedeeisen mit aufgeschraubten und verlötheten, glatten Flanschen. Zur Dichtung sind Kupferringe verwendet, welche sich leicht auswechseln lassen, da keine Feder und Nut vorhanden. Diese Dichtung hat sich selbst bei dem hohen Dampfdruck ganz vorzüglich bewährt und erfordert keine Unterhaltung, Nachziehen etc.

Auf der ganzen Länge der Dampfleitung von den Kesseln bis zum Laboratorium — ca. 80 m — befindet sich keine Entwässerung. Die Leitung liegt mit starkem Gefälle bis zum Hauptwasserabscheider (14), welcher in der an der östlichen Giebelwand befindlichen Unterkellerung aufgestellt ist. Um die Wärmeausdehnung der Leitung zu ermöglichen, ist vor dem Wasserabscheider eine entlastete Compensationsstopfbüchse von Dehne & Co., Halle a. S. (Fig. 15), eingeschaltet. Vor der letzteren ist noch ein kurzes Zwischenstück in die Leitung eingefügt, welches sich leicht herausnehmen lässt, so dass der entstandene Zwischenraum für die Einbringung und Untersuchung irgend welcher Ventile, Schnellschlussapparate u. A. benutzt werden kann. Der jeweilige Dampfdruck im Hauptwasserabscheider wird durch ein selbstregistrirendes Manometer im Laboratorium verzeichnet.

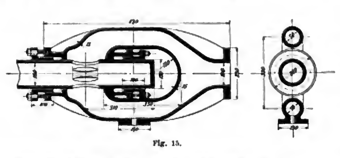


Fig. 15.

Von dem Wasserabscheider geht rechts auf der Nordseite eine Hauptdampfleitung *c* zunächst in einem Kanal, dann durch die Unterkellerung, zuletzt wieder in einem Kanal durch das ganze Laboratorium. Da die Leitung ohne grössere Bogen fast gerade verlegt ist, so sind noch zwei Compensationsstopfbüchsen eingeschaltet.

Links von dem Hauptwasserabscheider ist eine andere Dampfleitung *b* zunächst parallel mit der Giebelwand, dann in einem ebenfalls durch die ganze Länge des Laboratoriums laufenden Canal nur bis etwa zu dem zweiten Mauerpfeiler geführt. Es ist beabsichtigt, diese Dampfleitung später fortzusetzen und sie mit der anderen zu einer Ringleitung zu vereinigen.

Im Grossen und Ganzen ist vorläufig so disponirt, dass im nördlichen Längscanale die Frischdampf- und Abdampfleitungen liegen, während in dem Längscanal an der Südseite sich die Leitungen für Druckluft und Druckwasser sowie die elektrischen Kabel befinden.

Beide Längscanäle sind durch zahlreiche Quercanäle verbunden; an sämmtlichen Leitungen sind Anschlussstutzen vorgesehen, so dass es möglich ist, an jeder Stelle des Laboratoriums und in erster Linie in der Nähe derjenigen Fundamente, welche zur Aufnahme beliebiger Maschinen bestimmt sind, in bequemster Weise Anschlüsse für Frischdampf, für Abdampf, für Wasserzu- und abflussleitungen, Druckluft-, Druckwasser- und Kabelleitungen auszuführen.

Für die Erzeugung überhitzten Dampfes ist ein Ueberhitzer (12) vorgesehen, der bei der grossen Entfernung des Kesselhauses von der Maschinenhalle und aus anderen Gründen, die später besprochen werden sollen, im Anbau untergebracht worden ist. Derselbe kann mit der Hauptdampfleitung *c* so verbunden werden, dass in den von dem Ueberhitzer rechts befindlichen Rohrstrang hoch überhitzter Dampf gegeben werden kann.

Da in jedem Canal verhältnissmässig wenig Rohre untergebracht sind, so lässt die Zugänglichkeit und Uebersichtlichkeit derselben nach Abnahme der Riffelbleche nichts zu wünschen übrig. Mit Rücksicht auf die vielen Dichtungen ist hierauf ein besonderer Werth gelegt worden. Namentlich gestattet die Verlegung der Rohre in Canälen, welche leicht abdeckbar sind, eine ausserordentlich bequeme Uebersicht, was mit Rücksicht auf die Unterrichtszwecke von besonderem Vortheil ist.

In dem auf der Fig. 2 (Tafel I) dargestellten Rohrplan sind die Riffelbleche von den Canälen sämmtlich weggenommen gedacht. Es ist bei der Ausführung der Hauptdampfleitungen besonders darauf gesehen worden, so wenig Dichtungen wie möglich zu bekommen und in Folge dessen sind sämmtliche Krümmer an die Rohre gebogen und nicht als besondere Stücke ausgeführt worden. Aus demselben Grund sind die Stutzen durch schmiedeeiserne, aufgeschraubte und hart verlöthete *T*-Stücke hergestellt worden.

Dass das gesammte Condenswasser, das sich in der Dampfleitung zwischen Kessel und Hauptwasserabscheider bildet, in dem letzteren aufgefangen und dann gemessen werden kann, erleichtert wesentlich die Bestimmung dieser Condensationswassermengen bei Dampfverbrauchsversuchen. Bei Ausführung derselben durch Messung des Kesselspeisewassers wird das Condenswasser der Rohrleitung aus dem Hauptwasserabscheider, der mit Wasserstandsgläsern versehen ist, durch ein Ventil abgelassen, durch eine in einem

Wasserbehälter befindliche Kühlschlange (15) geführt und in einem Messgefässe (rechts von dem Kühler) gemessen.

Finden solche Versuche nicht statt, so kann bei dem einfachen Maschinenbetrieb das Condenswasser aus dem Hauptwasserabscheider durch ein Umschaltventil und einen Condenstopf selbstthätig entfernt werden.

Das Condenswasser, das sich in den Dampfleitungen links und rechts von dem Hauptwasserabscheider bis zur Maschine 1 resp. 7 bildet, wird durch Condenstöpfe selbstthätig entfernt und durch Rohrleitungen in den Kellerraum, in dem sich der Hauptwasserabscheider befindet, zurückbefördert, dort gekühlt und durch ein zweites Messgefäss (links vom Kühler [15]) gemessen.

Auf diese Weise ist es bei Dampfverbrauchsversuchen, welche durch Messung des Kesselspeisewassers ausgeführt werden, möglich, das gesammte Condenswasser zwischen Kessel und irgend einer Maschine in dem vorderen Theil des Laboratoriums in dem als Messraum ausgebildeten 1. Kellerraum zu messen. Der Letztere ist elektrisch beleuchtet, gut gelüftet und bequem zugänglich.

Bei den Maschinen, welche sich in dem mittleren und hinteren Theil der Maschinenhalle befinden, wird der Dampfverbrauch in der Regel nicht durch Messung des Speisewassers ermittelt, sondern durch Wägung des condensirten Abdampfes und zwar sowohl bei Auspuff- als bei Condensationsbetrieb. Diese Methode gestattet genaue Messungen in kürzester Zeit, was bei dem auf wenige Stunden zusammengedrängten Unterricht von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Die Wasserversorgung des Laboratoriums geschieht nur theilweise durch die städtische Wasserleitung, welche mittels eines zweizölligen Rohres längs des ganzen Gebäudes liegt und an welchem reichlich Anschlusshähne vorgesehen sind zur Entnahme des Wassers mittels Gummischläuchen. Der grössere Wasserbedarf jedoch, für die Pumpen, Einspritz- oder Oberflächencondensatoren, wird einem Sammelbrunnen (16) entnommen, welcher bei einem lichten Durchmesser von 2 m 8 m tief niedergesenkt ist. Das Wasser wird diesem Sammelbrunnen durch eine Heberleitung von 250 mm l. W. aus zwei Tiefbrunnen von 1 resp. 0,4 cbm minutlicher Leistung zugeführt, welche im Park der Hochschule gebohrt sind. Die Heberleitung kann von dem Laboratorium aus durch einen in dem vorerwähnten Messraum angebrachten Dampfejector (18) entlüftet und in Betrieb gesetzt und der Wasserstand im Brunnen in der Maschinenhalle durch einen pneumatischen Wasserstandszeiger abgelesen werden.

Eine weitere Wasserzuführung in den Sammelbrunnen kann erfolgen durch einen Druckluftwasserheber (Mammuthpumpe), welche pro Minute 400 l fördert, so dass insgesammt durch die Heberleitung und die Mammuthpumpe 1,8 cbm Wasser pro Minute zur Verfügung stehen.

Aus dem Sammelbrunnen wird das Wasser zunächst durch eine eigene Saugleitung *f* von der grossen Wasserwerks- resp. Presspumpe (6) des Laboratoriums entnommen, welche je nach der Druckhöhe minutlich 3 bis 1 cbm Wasser fördert.

Die Druckleitung dieser Pumpe mündet in einen Hauptdruckwindkessel (13), von dem aus das Wasser entweder in einer Druckleitung *g* dem Laboratorium zugeführt werden kann, zum Betrieb von Wassermotoren oder zu anderen Zwecken, oder durch eine Rücklaufleitung *l* wieder in den Sammelbrunnen zurückgeschafft wird, so dass bei letzterem Betrieb ein Wasserverbrauch durch die grosse Pumpe nicht stattfindet.

Der Hauptdruckwindkessel und die von ihm ausgehende Druckwasserleitung von 100 mm l. W., welche für 25 kg/qcm bemessen ist, kann auch zur Vertheilung von Druckluft benutzt werden, wenn an diese Leitung ein Compressor angeschlossen wird.

Aus dem Sammelbrunnen (16) wird ferner entnommen das Kühlwasser für den Einspritzcondensator der Betriebsdampfmaschine der grossen Pumpe (Rohrleitung *f*), das Wasser für eine elektrisch betriebene Centrifugalpumpe (11), welches als Kühlwasser für den Central-Oberflächencondensator (4) dient, und durch Rohrleitung *f'* das Wasser für den Einspritzcondensator der Locomobile (10).

An der Rohrleitung *f'* sind Anschlüsse vorgesehen, die gestatten, auch für andere Maschinen Wasser aus dem Sammelbrunnen zu entnehmen resp. in denselben zurückzulassen.

Das Abwasser des Laboratoriums wird durch Abflussleitungen, welche sich sämmtlich in eine 300 mm-Hauptabflussleitung *e* ergiessen, weggeschafft, zunächst in einen Oelabscheider (17) geleitet und von da in den Landwehrcanal entlassen.

Ausser den Abflussleitungen, welche an die Condensatoren der Maschinen fest angeschlossen sind, bestehen im Laboratorium aber noch vier Abflussgerinne, welche für gewöhnlich mit Riffelblech abgedeckt sind und zur Aufnahme und Wegschaffung grösserer Wasserquantitäten vorgesehen sind (siehe Fig. 2, Tafel I). Diese Gerinne werden namentlich zur Abführung des Verbrauchswassers benutzt, bei Untersuchung von nur zeitweise dem Laboratorium übergebenen Turbinen, Wassermotoren etc.

Während für alle Maschinen, ausgenommen die Vierfach-Verbundmaschine 1, das Kühlwasser aus dem Sammelbrunnen entnommen wird, wird das Kühlwasser für die letztere durch eine Dampfduplexpumpe (7) aus einem besonderen Tiefbrunnen beschafft, welcher an der südlichen Längsseite des Laboratoriums erbohrt ist.

Für die im Laboratorium vorhandene Gebläsemaschine ist eine besondere Rohrleitung *n* ausserhalb des Gebäudes gelegt, welche den Druckraum des Gebläsecylinders mit einem grossen Gebläsewindkessel verbindet, als welcher ein alter Dampfkessel verwendet wird.

D. Dampfmaschinen.

1. Vierfach-Verbundmaschine von 220 PS. für 18 kg/qcm Betriebsdampfdruck.

Diese Maschine, welche zu dem bedeutenden Geschenk des Herrn Geh. Reg.-Raths A. Riedler gehört, ist von der Stettiner Maschinenbau-Actiengesellschaft Vulcan in mustergiltiger Weise ausgeführt worden und gehört zu den interessantesten des Laboratoriums. Unter theilweiser Benutzung des Rahmens und Triebwerks eines vorhandenen Schiffsmaschinenmodells ist die Maschine, deren perspectivische Ansicht Fig. 16 darstellt, in weitgehender Weise nach Entwürfen des Verfassers und unter Mitwirkung der Ingenieure des Vulcan zu Versuchs- und Studienzwecken besonders gebaut worden.

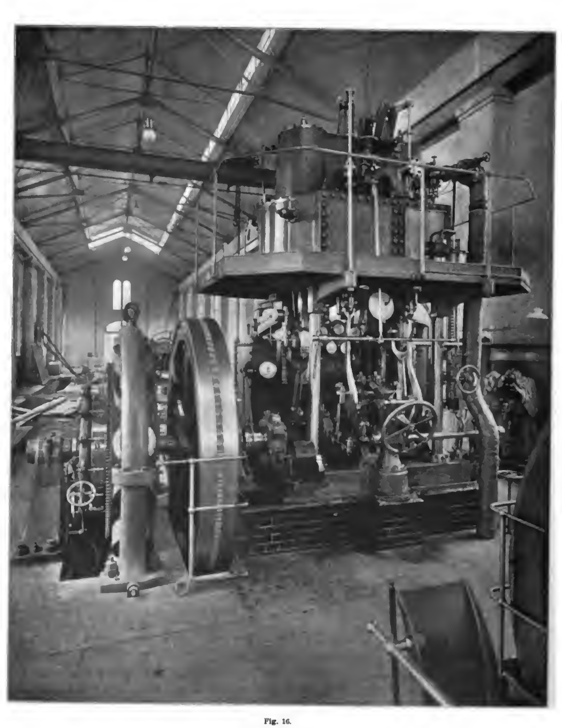


Fig. 16.

Ich möchte an dieser Stelle hervorheben, mit welch grosser Bereitwilligkeit die Direction des Vulcan auf vielseitige Wünsche beim Bau der Maschine eingegangen ist und derselben den verbindlichsten Dank für ihr Entgegenkommen aussprechen.

Die Dampfmaschine sollte aus bereits früher erwähnten Gründen durch eine Dynamomaschine F 800 der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft belastet werden, welche

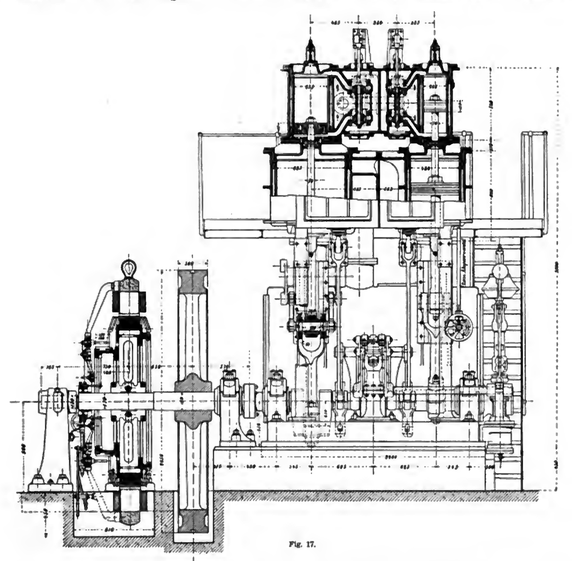


Fig. 17.

normal bei 150 Touren 150 PS. benöthigt. Da diese Dynamotype jedoch so ausserordentlich reichlich bemessen ist, dass sie selbst mehrere Stunden bis auf 30% überlastet werden kann, so wurden die Abmessungen der Dampfmaschine entsprechend der dauernd zu erreichenden Maximalleistung der Dynamo gewählt. Bei 18 kg/qcm Betriebsdampfdruck und 150 minutlichen Umdrehungen beträgt die normale indicirte Leistung der Dampfmaschine daher 220 PS.

Wie schon oben erwähnt, war es mein Bestreben, bei dem Entwurf der Dampfmaschinen des Laboratoriums insbesondere durch Berücksichtigung der thermischen Verhältnisse Versuche zu ermöglichen, um zu erforschen, bis zu welcher Grenze der Effect der Maschinen einer Verbesserung in dieser Richtung fähig ist.

Bei dieser Maschine sollte im Wesentlichen festgestellt werden, was durch möglichste Erhöhung der Betriebs-Dampfspannung zu erreichen ist und welchen Einfluss dieselbe auf den Dampfverbrauch hat.

Die Maschine wurde deswegen für max. 18 kg/qcm Ueberdruck gebaut. Dieser hohe Dampfdruck machte die Ausdehnung des Dampfes in vier Cylindern wünschenswerth und ich beschloss daher eine Vierfach-Verbundmaschine auszuführen.

Bei der für eine solche Mehrcylindermaschine jedoch verhältnissmässig geringen Leistung der Maschine wäre es unzweckmässig gewesen, vier Cylinder mit vier Triebwerken anzuordnen, da hierdurch einerseits die Reibungsarbeit der Maschine unverhältnissmässig hoch, andererseits die Rauminanspruchnahme derselben für die örtlichen Verhältnisse zu gross geworden wäre. Diese Erwägungen veranlassten mich, die Maschine als Doppeltandemmaschine zu entwerfen, derart, dass nur zwei Triebwerke ausgeführt und je zwei Cylinder über einander gesetzt wurden. Da die Maschine unter theilweiser Benutzung eines Schiffsmaschinenmodells erbaut werden sollte, ergaben sich vertikale Bauart und Oberflächencondensation von selbst.

Die Abmessungen der Maschine, aus deren Längsschnitt mit dem der Dynamo Fig. 17, Seitenansicht resp. Schnitt Fig. 18 resp. Fig. 19 und Grundriss Fig. 20 sich die Bauart erkennen lässt, sind:

Hochdruckcylinder	Dm	225 mm
Mitteldruckcylinder I	»	335 »
» II	»	480 »
Niederdruckcylinder	»	685 »
Gemeinschaftlicher Kolbenhub	. . . .	500 »

Das gusseiserne Gehäuse des Oberflächencondensators ist einerseits mit dem Grundrahmen verschraubt und trägt andererseits die Linearführung für die Kreuzköpfe und die Auflager für die Dampfcylinder (Fig. 19 und 21).

In dem Oberflächencondensator, welcher für die Maschine reichlich gross ist, da das Modell einer etwas grösseren Schiffsmaschine benutzt worden war, sind 445 Messingrohre von 15,5 mm innerem und 17,5 mm äusserem Durchmesser und 1,8 m Länge untergebracht. An das Gussstück des Condensatorgehäuses, dessen ebene Wände durch Rippen kräftig versteift sind, schliesst sich der Grundrahmen, welcher die drei Hauptlager der Maschine trägt.

Die Dampfcylinder sind so angeordnet, dass Hoch- und Mitteldruckcylinder II sowie Mitteldruckcylinder I und Niederdruckcylinder über einander sitzen und je eine gemeinsame Kolbenstange haben.

Um eine möglichst geringe Bauhöhe und damit leichte Uebersichtlichkeit der Maschine zu erreichen, sind die Cylinder unmittelbar auf einander gesetzt, derart, dass die Kolbenstange zwischen beiden Cylindern durch eine selbstthätig dichtende und nicht nachstellbare Metallstopfbüchse hindurchgeht.

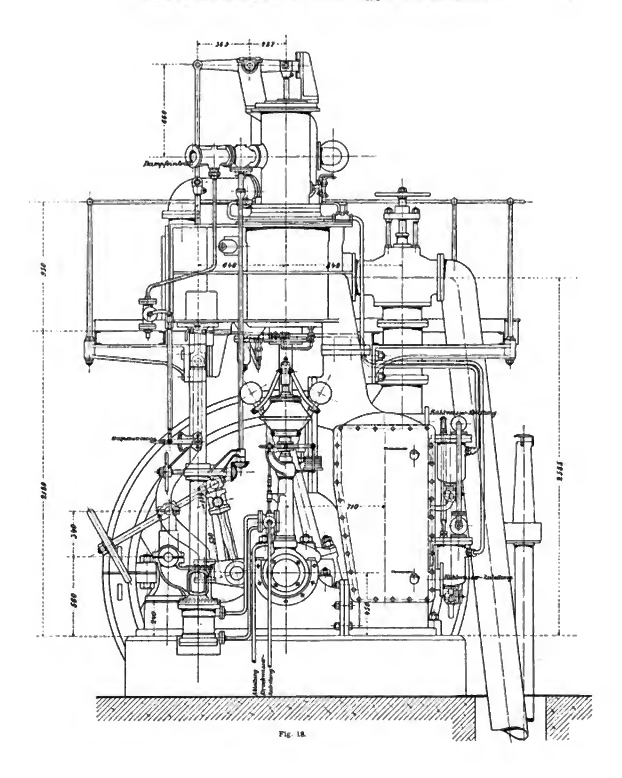


Fig. 18.

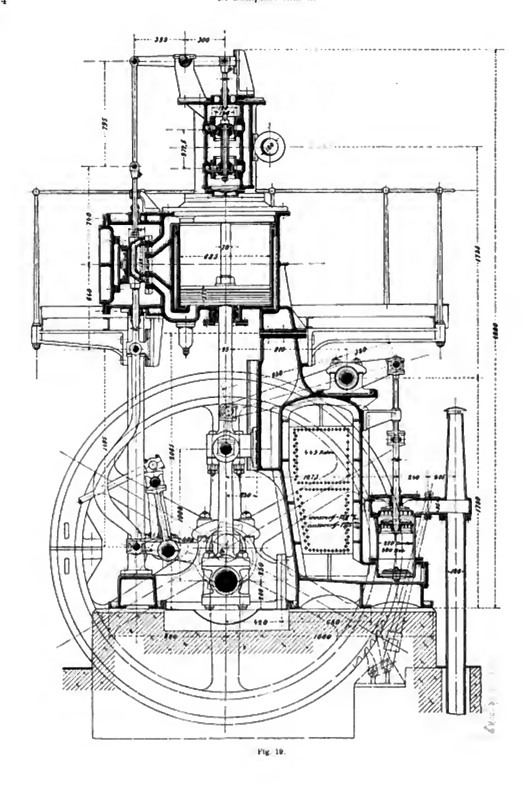


Fig. 19.

Diese Stopfbüchse, welche von der Philadelphia Metallic Packing Co. in Amerika zuerst hergestellt wurde, wird seit mehreren Jahren vom Vulcan mit grossem Erfolg verwendet. Die Bauart derselben ist in Fig. 22 dargestellt.

Die Dichtung erfolgt durch mit Weissmetall ausgegossene Rothgusssegmente (s. Fig. 22 links), welche durch den Dampfdruck an die Kolbenstange angepresst werden. Um das Anliegen der Segmente an die Kolbenstange auch im Stillstand zu sichern, sind schwache Federn angeordnet. Der Abschluss der Stopfbüchse erfolgt durch einen in einer Kugelfläche beweglichen Ring, der kleine seitliche Bewegungen der Kolbenstange zulässt.

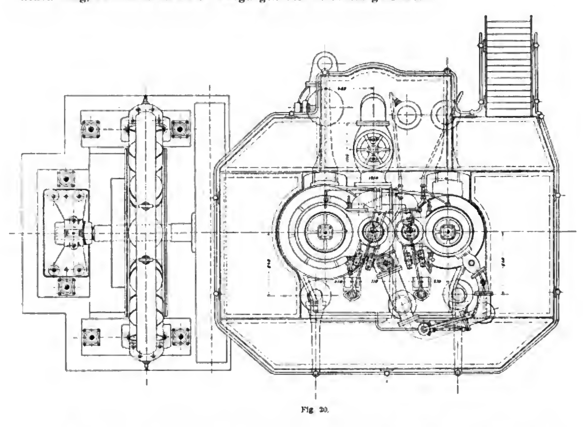


Fig. 20.

Mit Rücksicht auf die ausserordentlich guten Erfahrungen, welche mit dieser Kolbenstangendichtung gemacht worden sind, hat man auf die Ausführung zweier gewöhnlichen Stopfbüchsen und eines Zwischenstückes zwischen den Cylindern verzichtet.

Nachdem die Maschine jetzt bereits länger als ein Jahr in Betrieb ist, kann man behaupten, dass sich die Construction sehr gut bewährt hat und die Stopfbüchsen praktisch vollkommen dicht sind.

Niederdruckcylinder und Mitteldruckcylinder II sind zusammen fest verschraubt (siehe Fig. 23) und sind mit je einem Fuss auf einem Ständer des Oberflächencondensators gelagert, während sie an der vorderen (Schieberkastenseite) durch zwei schmiedeeiserne Ständer, welche sich auf den Lagerrahmen der Maschine aufstützen, getragen werden.

Die sich auf diese beiden Cylinder aufsetzenden Hoch- und Mitteldruckcylinder I sind mit Rücksicht auf die Wärmeausdehnung ohne jegliche feste Verbindung mit einander (s. Fig. 24).

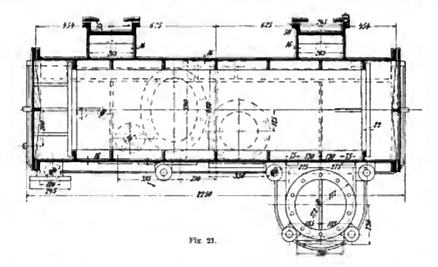


Fig. 21.

Das Dampfüberströmrohr von dem Hochdruck- nach dem Mitteldruckcylinder I ist daher auch als Stopfbüchsenrohr ausgeführt.

Das Triebwerk der Maschine ist mit Rücksicht auf die grossen Maximalkolbendrücke äusserst kräftig gehalten.

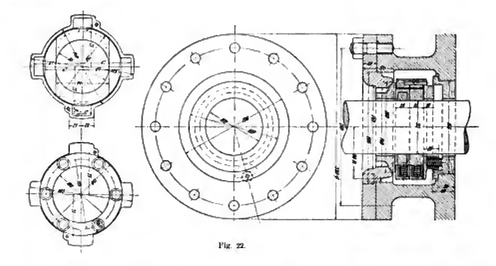


Fig. 22.

Die Kolben, von welchen in Fig. 25 nur derjenige des Mitteldruckcylinders II dargestellt ist, sind sämmtlich gleichartig mit gusseisernen, durch Stahlfedern gespannte Ringen gedichtet, welche nicht übergestreift, sondern eingelegt sind und die durch einen Ring, der auf dem eigentlichen Kolbenkörper mittels versenkter Schrauben befestigt ist, festgehalten werden.

Diese Anordnung ist mit Rücksicht darauf gewählt, die Ringe leicht auswechseln zu können, ohne den Kolben von der Stange losnehmen zu müssen, denn erfahrungsgemäss lässt sich dieser von dem Conus der Kolbenstange nach längerem Betrieb sehr schwer entfernen.

Die Dampfkolben von Hoch- und Mitteldruckcylinder I sind massiv ausgeführt, wie sie der Vulcan für kleinere Cylinder stets verwendet. In Folge dessen ist auch das Gewicht der hin- und hergehenden Massen der Maschine sehr erheblich.

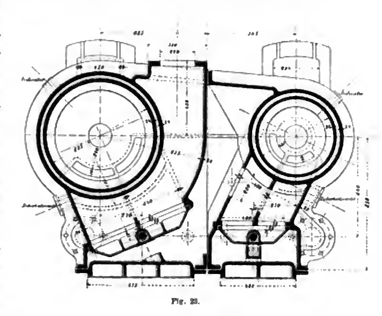


Fig. 23.

Die Kolbenstange trägt am unteren Ende einen angeschmiedeten Kopf, an welchem mittels Gabel die Lenkstange angehängt ist; derselbe ist gleichzeitig als Gleitschuh für die Kreuzkopfführung ausgebildet und daher an dieser Stelle mit einem Rothgussfutter versehen, das bei eintretendem Verschleiss leicht ausgewechselt werden kann.

Die Pleuelstange ist nach der bei Schiffsmaschinen üblichen Bauart hergestellt. Die Länge derselben beträgt jedoch nur das 3,5 fache vom Kurbelradius, eine Abmessung, welche im Schiffsmaschinenbau mit Rücksicht auf eine geringe Höhe der Maschinen vielfach üblich ist und die wegen der theilweisen Verwendung eines vorhandenen Modells beibehalten werden musste. Durch die geringe Länge der Lenkstange gewinnt die Maschine ein ausserordentlich gedrungenes und stabiles Aussehen.

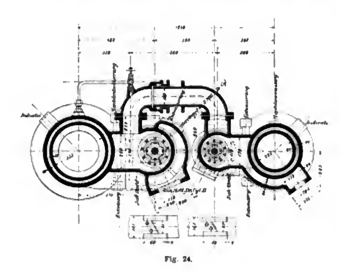


Fig. 24.

Obgleich die hin- und hergehenden Massen der Maschine erheblich sind und bei der vorgesehenen Geschwindigkeit von maximal 180 minutlichen Umdrehungen eine Ausbalancirung derselben sehr am Platze gewesen wäre, so musste doch mit Rücksicht darauf, dass es nicht möglich war, Gegengewichte in dem vorhandenen Rahmen ohne Aenderung desselben und der Steuerung unterzubringen, auf eine Ausgleichung verzichtet werden

Die Kurbelwelle ist als doppelt gekröpfte Welle ausgeführt, mit einseitig angeschmiedetem Flansch zur Kuppelung mit der Dynamowelle.

Die Hauptlager der Maschine sind sämmtlich mit gusseisernen Lagerschalen versehen, welche mit Weissmetall ausgegossen und so angeordnet sind, dass sie bequem bei nur ganz geringem Anheben der Welle herausgedreht werden können, um nachgearbeitet zu werden. Für die Lagerung des Kreuzkopfzapfens sind wie üblich Bronceschalen, welche mit Weissmetallstreifen ausgegossen sind, verwendet.

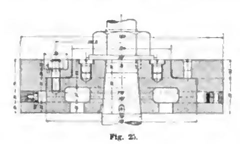


Fig. 25.

Da die ganze Bauart der Maschine die einer Schiffsmaschine ist, so ist eine der üblichen Schiffsmaschinensteuerungen beibehalten worden und zwar die Klug'sche Umsteuerung.

Diese Steuerung gibt trotz der Verwendung nur je eines Schiebers eine verhältnissmässig günstige Dampfverteilung, namentlich auch bei kleineren Füllungen, da ja mit abnehmender Füllung die Compression zunimmt.

Der Antrieb der Schieber ist dadurch vereinfacht, dass die Steuerungsorgane von je zwei über einander sitzenden Cylindern durch ein und dasselbe Excenter gesteuert werden, so dass nur zwei Excenter benöthigt werden. Der Schieberantrieb ergibt sich aus Fig. 19.

Die sehr kurzen Excenterstangen schwingen um Zapfen, die ihrerseits an Lenkstangen hängen, deren Drehpunkt auf einen Kreisbogen zur Veränderung der Füllung und zur Umsteuerung verschoben wird. Die Excenterstangen sind über den Schwingungspunkt hinaus verlängert und tragen Zapfen zum Antrieb der Schieberlenkstangen. Die Excenter sind bekanntlich in gleichem Winkel mit der Kurbel aufgekeilt.

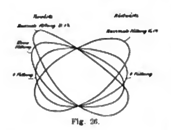


Fig. 26.

Die Schieberlenkstangen mussten mit Rücksicht auf das Auslegen der Steuerung bei grösster Füllung abgekröpft und zu dem Zweck an den betreffenden Stellen reichlich verstärkt werden. Die Anordnung ist zwar nicht schön, aber sie gestattet, den ganzen Steuerungsmechanismus constructiv sehr zusammenzudrängen.

Die Bewegung der unteren Zapfen der Schieberlenkstangen ist charakteristisch für die Schieberbewegung und damit für die Dampfverteilung. Die Schwingungen des Zapfenmittelpunktes bei den verschiedenen Stellungen der Steuerung können durch einen besonderen Apparat aufgezeichnet werden und ergeben die in Fig. 26 dargestellten bekannten Curven.

Die gekröpften Lenkstangen übertragen die Bewegung auf die Schieberstangen mittels Kreuzkopf und Gradführung.

Für die beiden unteren Cylinder sind Flachschieber mit Trickcanal verwendet worden, deren Bauart und Abmessungen sich aus Fig. 23 und 27 ergeben. Um den schädlichen Raum des Niederdruckcylinders nach Möglichkeit zu verkleinern, ist die Ebene des Schieberspiegels in einem Winkel zur Kurbelwelle der Maschine gelegt.

Das Abheben der Flachschieber bei zu grosser Compression, im Falle mit Auspuff gearbeitet wird, wird durch gefederte Führungslineale verhütet. Die Ueberdeckungen der Schieber sind so gewählt, dass die Füllungen auf der unteren Cylinderseite mit Rücksicht auf die zu hebenden Gestängegewichte etwas grösser als auf der oberen Seite ausfallen, ausserdem ist dabei die endliche Stangenlänge berücksichtigt.

Die Schieberstangen der Flachschieber sind über die Schieberkasten hinaus nach oben verlängert und treiben von da aus mittels Lenkstange und Doppelhebel die Kolbenschieber für die oberen Cylinder an.

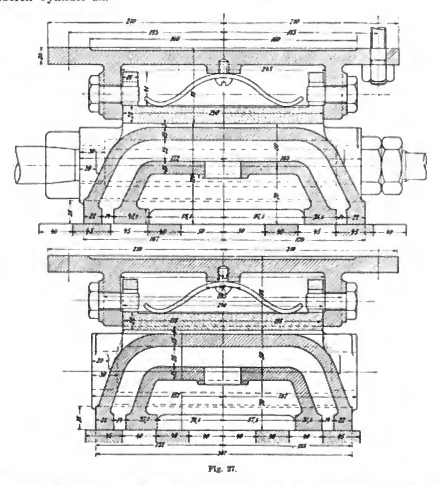


Fig. 27.

Für den Hoch- und Mitteldruckcylinder I mussten mit Rücksicht auf die dort vorhandenen hohen Dampfdrücke und die Möglichkeit, auch mit überhitztem Dampf arbeiten zu können, Kolbenschieber vorgesehen werden. Die Construction dieser Kolbenschieber und ihre Dimensionen ergeben sich aus Fig. 28.

Die Kolbenschieber sind mit gusseisernen Ringen versehen, welche durch Stahlfedern gespannt gehalten werden. Die Federn sind schräg aufgeschnitten; an der Schnittstelle ist die Dichtung durch ein Rothgussschloss bewirkt. Die Kolbenschieber sind aus mehreren Theilen

verschraubt, so dass das Einsetzen der Dichtungsringe ohne Schwierigkeit möglich ist. Da durch den Doppelhebel eine Umkehrung der Schieberbewegung stattfindet, so musste für die oberen Cylinder Inneneinströmung gewählt werden. Die Einstellung der Schieber wird erleichtert durch verschliessbare Schauöffnungen, die an den Schieberkasten vorgesehen sind.

Die Dampfcylinder sind sämmtlich mit Heizmänteln versehen. Zu diesem Zweck sind die Laufcylinder in die äusseren Cylinder eingesetzt und mit eingestemmten Kupferringen gedichtet.

Als Heizdampf für den Hochdruckcylinder wird Frischdampf verwendet, während für die übrigen Cylinder der Heizdampf aus der Zudampfleitung zum Schieberkasten des betreffenden Cylinders entnommen wird.

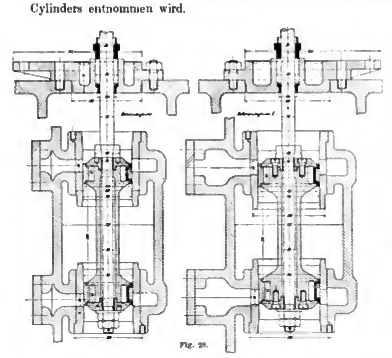


Fig. 28.

Bei der Vierfach-Verbundanordnung der Maschine wäre das Anwärmen besonders des Mitteldruckcylinders II und des Niederdruckcylinders ohne Hülfsvorrichtung sehr schwierig. Es ist deshalb ein Hülfsschieber vorgesehen, durch welchen man direct Dampf in den Mitteldruckcylinder II und den Niederdruckcylinder geben kann (siehe Fig. 18), wodurch auch das Anlassen der Maschine erleichtert wird.

Sämmtliche Cylinder sind mit Sicherheitsventilen gegen Wasserschläge ausgerüstet.

Mit Rücksicht auf den hohen Dampfdruck ist besondere Sorgfalt auf die Dichtung der Flanschen gelegt. Die Dichtungsschrauben auf den Schieberkasten, Deckeln u. s. w. sind sehr dicht neben einander gesetzt; als Dichtungsmaterial ist gewelltes Kupferblech mit Mennige angewendet worden, was sich sehr gut bewährt hat.

Um der Maschine möglichst trockenen Dampf zuzuführen, wird derselbe durch einen Wasserabscheider von Holden & Brooks, Manchester, entwässert.

Die Bauart desselben (Fig. 29) beruht darauf, den Dampf in rotirende Bewegung zu bringen und das Wasser durch Centrifugalwirkung abzuscheiden. Der Apparat entspricht seinem Zweck; Untersuchungen der Dampffeuchtigkeit vor dem Eintritt des Dampfes in den Hochdruckcylinder mittels Drosselcalorimeters ergaben gute Resultate.

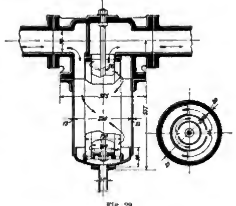
Das Absperrventil kann durch Handrad von unten bethätigt werden.

Beim Austritt des Dampfes aus dem Niederdruckcylinder ist ein Wechselventil angebracht, durch welches der Dampf nach Belieben in den Condensator oder zum freien Auspuff geleitet werden kann.

Die Luftpumpe wird durch einen zweiarmigen Hebel von dem Gestänge der Niederdruckcylinderseite angetrieben. Luftpumpen-Cylinder und Kolben sind aus Rothguss. Die Ventile sind aus demselben Material in gewelltem Querschnitt hergestellt (Fig. 19). Der gusseiserne Untersatz der Luftpumpe ist an den Condensator angegossen.

Die Verbindung des Mitteldruckcylinders I mit dem Mitteldruckcylinder II erfolgtdurch ein mittels Schieber abschliessbares Rohr (siehe Fig. 20), welches ausserdem noch einen für gewöhnlich mit Bindflansch verschlossenen Stutzen trägt. Diese Anordnung gestattet, nach Abschlufs des Schiebers und Herstellung einer Verbindung zwischen dem Stutzen und der Frischdampfleitung, mit Mitteldruckcylinder II und Niederdruckcylinder allein in Einfach-Verbundbetrieb zu arbeiten und dabei Hochdruck- und Mitteldruckcylinder I auszuschalten.

Die Belastung der Maschine erfolgt, wie schon erwähnt, durch eine Gleichstromdynamo *F* 800 (normal 240 Volt, 400 Amp.) der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft, welche direct mit der Kurbelwelle gekuppelt ist. Obgleich das Ankergewicht der Dynamo (5000 kg) erheblich ist, wurde doch noch ein Schwungrad von 4500 kg angeordnet. Das letztere ist zweitheilig und sitzt auf der Dynamowelle so nahe neben dem Anker, als möglich war, ohne eine Ablenkung der Kraftlinien durch dasselbe befürchten zu müssen. Dafür genügt in der Regel ein Abstand von 300 mm.


Fig. 29.

Mit Rücksicht auf das erhebliche Schwunggewicht und die gegebene Nabenbohrung des Dynamoankers, welche eine Verstärkung der Welle nicht zuliess, wurde dicht neben dem Schwungrad ein einzelnes Lager angeordnet, so dass die Kuppelung zwischen zwei Lagern zu liegen kam.

Da die Maschine für den Lichtbetrieb der Hochschule mit herangezogen werden sollte, machte sich die Anbringung einer automatischen Regulirungsvorrichtung nöthig. Es war selbstverständlich ausgeschlossen, die Klug'sche Steuerung unmittelbar durch einen Centrifugalregulator verstellen zu lassen, da die Widerstände derselben für die Verstellungskraft eines solchen viel zu gross sind. Es war deshalb die Zwischenschaltung einer Hülfskraft nöthig.

Ich habe versucht, zuerst einen Elektromotor dafür zu verwenden. Die Schwierigkeiten, die sich bei dem Entwurf ergaben, waren jedoch so gross, dass die Anordnung ausserordentlich complicirt geworden wäre. Ich entschloss mich daher zur Einschaltung eines hydraulischen Kraftcylinders.

Die Anordnung wurde derart gewählt, dass die Steuerung der Maschine sowohl von Hand, mittels Handrad und Schraubenspindel, verändert werden kann, als auch unter dem Einfluss des Regulators. Die Bauart der hydraulischen Regulirung ist in Fig. 30 dargestellt.

Der Regulator bethätigt einen Steuerschieber, welcher die Vertheilung des Druckwassers für den Kraftcylinder besorgt. Der Kolben des Letzteren überträgt seine Bewegung mittels Kreuzkopf und Lenkstange und einarmigen Hebels auf eine Steuerwelle, welche ihrerseits mittels Doppelhebels und Lenkstangen die Steuerung verstellt.

Selbstverständlich muss bei Benutzung des Regulators die Schraubenspindel für die Verstellung von Hand herausgenommen werden, was in ganz kurzer Zeit möglich ist. Die Spindel nebst Handrad sind daher in Fig. 30 punktirt gezeichnet.

So einfach dieses Princip der Hülfssteuerung auch ist, so erfordert doch die praktische Ausführung desselben, wenn eine exacte Regulirung ermöglicht werden soll, noch ein Hülfsgestänge, durch welches die Abhängigkeit der Stellung des Kolbens im Kraftcylinder und damit der Steuerung von der jeweiligen Regulatorstellung hergestellt wird.

Um diese Abhängigkeit zu erzielen, ist eine Gestängeverbindung zwischen dem Kolben des Kraftcylinders, dem Regulator und dem Steuerschieber derart geschaffen, dass jeder Regulatorstellung eine bestimmte Stellung des Kolbens im Kraftcylinder entspricht. Um dies zu erreichen, muss für jede Stellung des Kolbens im Kraftcylinder resp. des

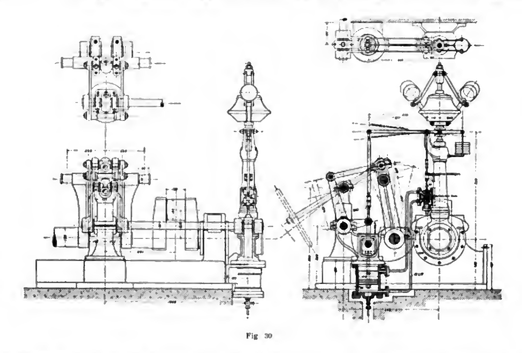


Fig. 30

Regulators (Füllung) eine Mittelstellung des Steuerschiebers möglich sein. Deshalb muss der durch den Regulator verschobene Steuerschieber durch die damit eingeleitete Bewegung des Steuerkolbens wieder auf Mittellage gestellt werden.

Um dies zu ermöglichen, ist der Steuerkolben durch eine Lenkstange mit einem horizontal angeordneten nicht fest gelagerten Hebel verbunden, an dem der Steuerschieber uud die Regulatorhülse angreifen. Bei der Mittellage des Steuerschiebers ist das Wasser über und unter dem Steuerkolben abgesperrt und die Steuerung unbeweglich. Findet nun eine Regulirung statt, indem die Maschine beispielsweise langsamer geht, so sinkt das Hülsengewicht der Regulators, und der horizontale Hebel dreht sich um den vorläufig feststehenden links befindlichen Zapfen. Hierdurch wird der Steuerschieber verstellt und Druckwasser tritt unter den Steuerkolben, verstellt die Füllung und bringt gleichzeitig den Steuerschieber wieder auf

Mittellage, indem der momentane Drehpunkt des horizontalen Hebels sich jetzt rechts auf der (momentan feststehenden) Regulatorhülse befindet. Das System ist also wieder im Gleichgewicht und der Steuerschieber in Mittellage. Die Verstellung der Steuerung von grösster auf kleinste Füllung findet daher nicht in einer Bewegung statt, sondern absatzweise, doch so rasch, dass man die einzelnen Phasen des Vorganges nicht verfolgen kann.

Der Steuerschieber muss mit äusserst geringer Ueberdeckung ausgeführt sein, um möglichst exacte Wirkung hervorzurufen. Derselbe ist aus Bronce hergestellt und in eine Büchse aus dem gleichen Metall genau eingepasst.

Das Druckwasser wird aus der Wasserleitung entnommen, nachdem es vorher durch einen Filter gereinigt worden ist.

Die Steuerung hat sich vorzüglich bewährt. Durch entsprechende Bemessung des Steuerschiebers, des Kraftcylinders und des Wasserdruckes ist eine beliebig rasche Regulirung zu erzielen.

Versuchseinrichtungen an der Vierfach-Verbundmaschine.

a) Dampfverbrauchsversuche.

Der Dampfverbrauch der Maschine wird lediglich durch Messung des Condensats aus dem Oberflächencondensator bestimmt. Diese Methode der Bestimmung des Dampfverbrauchs eignet sich für ein Laboratorium ganz vorzüglich, da sie in verhältnissmässig kurzer Zeit, Beharrungszustand beim Betrieb der Maschine vorausgesetzt, ein sehr genaues Resultat liefert.

Das Condensat wird von der Luftpumpe herausgepumpt und fliesst während des normalen Betriebes durch ein Abflussgerinne ab. Soll die Menge desselben bestimmt werden, so wird an das Ausflussrohr ein Schwenkrohr angeschlossen, von dem aus das Condensat in Bottichen gewogen werden kann (siehe Fig. 31).



Fig. 31.

Bei gutem Beharrungszustande ist die Versuchsdauer von einer Stunde vollständig ausreichend für die Ausführung eines solchen Versuchs, was für den Unterrichtsbetrieb des Laboratoriums von grosser Wichtigkeit ist, denn die kürzere Dauer erleichtert die Übersicht bei Vergleichsversuchen, und in der Regel fehlt es den Studirenden auch an Zeit, Versuche von sechs und mehr Stunden, welche Dauer bei der Messung des Speisewassers etc. nöthig ist, auszuführen. Ausserdem gestattet die Bestimmung des Dampfverbrauchs durch das Condensat, jede Dampfmaschine unabhängig von den anderen zu untersuchen. Daher ist von dieser Methode im Laboratorium ausgiebig Gebrauch gemacht.

Das Condenswasser, das sich innerhalb der Maschine bildet, also in den Aufnehmern, den Cylindermänteln und in den Schieberkästen, kann für jeden Cylinder einzeln abgezogen und gewogen werden. Zu dem Zwecke wird dasselbe in vier gusseisernen Behältern aufgefangen und dort durch eine in jeden Behälter eingesetzte Kupferspirale, durch welche kaltes

Wasser strömt, gekühlt. Von diesen Behältern kann das Condensat durch Dreiweghähne nach Belieben entweder in den Oberflächencondensator entlassen oder in Eimern behufs Wägung aufgefangen werden.

An den gusseisernen Condenswasser-Behältern, die an der rückseitigen Wand des Oberflächencondensators leicht zugänglich angeordnet wurden, sind Wasserstandsgläser angebracht, damit man sich von dem Inhalt der Ersteren überzeugen kann.

Bei den Dampfverbrauchsversuchen ist die Erzielung einer gleichmässigen Belastung der Maschine, also des Beharrungszustandes dadurch wesentlich erleichtert, dass der elektrische Strom der Dynamo durch einen regulirbaren constanten Widerstand (Lampenbatterie), welcher zur Aufnahme von 200 PS. ausreicht, verbraucht werden kann.

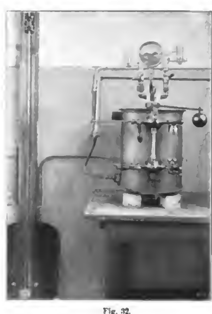


Fig. 32.

Auf diese Lampenbatterie können sämmtliche Dynamos geschaltet werden. Dieselbe ist so eingerichtet, dass die Belastung von 5 zu 5 PS. mittels Schalthebel geändert werden kann.

Durch geaichte elektrische Präcisions-Messinstrumente und durch genaue Bestimmung des Wirkungsgrades der Dynamomaschine ist man dann in der Lage, die effective Leistung der Dampfmaschine auf einfache Weise festzustellen.

Zur Bestimmung der indicirten Leistung der Dampfmaschine stehen Indicatoren von Dreyer, Rosenkranz & Droop, Schäffer & Budenberg und Crosby zur Verfügung. Die Federn derselben können auf ihre Richtigkeit durch Vergleich mit der Quecksilbersäule geprüft werden. Fig. 32 zeigt die Anordnung des dazu benutzten Apparates. Es ist ein kleiner mit Blech verkleideter kugelförmiger Dampfkessel, der mit Gas geheizt wird und mit einem Quecksilbermanometer in Verbindung steht. Indicatoren und Manometer können mit demselben bis 20 kg/qcm für warmen und kalten Druck geaicht werden. In letzerem Falle wird, um die Erwärmung der Indicatoren zu verhüten, eine Flüssigkeitssäule dazwischengeschaltet.

Obwohl die Maschine als Viercylindermaschine gebaut wurde, ist sie doch so eingerichtet, dass sie mit Leichtigkeit als Drei- und als Zweifach-Verbundmaschine betrieben werden kann. Bei dreifach Verbundbetrieb, wo der Dampfdruck nur 10 bis 12 kg/qcm beträgt, werden der Kolben und der Steuerschieber des Hochdruckcylinders herausgenommen, was sich in kürzester Zeit ermöglichen lässt; der Dampf geht dann durch den Hochdruckcylinder, ohne Arbeit zu leisten, hindurch, wobei der Cylinder die Wirkung eines Wasserabscheiders hat.

Arbeitet die Maschine als Zweifach-Verbundmaschine mit 4 bis 6 kg/qcm, so kann entweder auch der Kolben und der Steuerschieber des Mitteldruckcylinders *I* herausgenommen werden und der Dampf durch Hoch- und Mitteldruckcylinder *I* hindurchpassiren, oder der Auspuff des Mitteldruckcylinders *I* kann durch den bereits erwähnten Schieber abgesperrt werden.

Der Dampf tritt dann nach Einbau eines vorhandenen Passrohres unmittelbar aus der Frischdampfleitung in den Mitteldruckcylinder *II*. Die Schieber des Hoch- und Mitteldruckcylinders *I* müssen auch in diesem Fall herausgenommen werden, und wenn man die Kolbenreibung dieser beiden Cylinder auch beseitigt wissen will, müssen auch die Kolben entfernt werden.

Die Umänderungen der Vierfach-Verbundmaschine in eine Drei- und Zweifach-Verbundmaschine nur durch Herausnahme der Schieber lassen sich in einer halben Stunde vornehmen; sie sind namentlich für die Unterrichtszwecke lehrreich, weil sie den Studirenden gestatten, durch eigene Versuche, die in verhältnissmässig kurzer Zeit auszuführen sind, ein anschauliches Bild zu gewinnen von der Verminderung des Dampfverbrauchs durch Erhöhung der Dampfspannung, von dem Effect der Mantelheizung u. a. m.

Diese Versuche, die auch weitere Kreise interessiren dürften, sind bereits durchgeführt und werden demnächst von mir veröffentlicht werden.

Bei Versuchen mit Auspuffbetrieb wird zweckmässiger Weise die Luftpumpe abgekuppelt. Die Bestimmung des Dampfverbrauchs kann auch hier durch Condensation des Auspuffdampfes im Oberflächencondensator erfolgen. Das Condensat läuft dann ohne Vermittlung der Pumpe einfach aus.



Fig. 33.

b) Wärmetechnische Untersuchungen.

Zur Ausführung von wärmetechnischen Untersuchungen sind an der Maschine Stutzen angebracht, in welche Thermometerröhrchen eingesetzt sind und durch die man die Dampftemperatur beim Eintritt und Austritt jedes Cylinders, sowie die Temperatur des abfliessenden Condensats und des zu- und abfliessenden Kühlwassers messen kann.

Da sich ausserdem die Kühlwassermenge für den Condensator durch Messgefässe bestimmen lässt, so lassen sich bequem wärmetechnische Versuche an der Maschine ausführen. Dieselben werden auch von den Studierenden regelmässig vorgenommen.

Die Temperaturmessungen an der Maschine sind besonders wichtig bei Betrieb derselben mit überhitztem Dampf, da hierdurch die Möglichkeit gegeben ist, das Verhalten des überhitzten Dampfes innerhalb der Maschine zu verfolgen.

Das Kühlwasser für den Condensator wird von einer Dampfduplexpumpe beschafft (Fig. 33), welche ein Geschenk des Herrn Geh. Reg.-Raths Riedler ist und die das Wasser aus einem besonderen Tiefbrunnen entnimmt. Die Pumpe ist ebenfalls vom Vulcan gebaut.

Mit Rücksicht auf die Bedienung der Maschine durch Studirende sind sämmtliche Hähne, Ventile und Hilfsdampfleitungen u. s. w. mit genauer Bezeichnung versehen, so dass selbst Ungeübteren das Zurechtfinden möglich ist.

Der Wassergehalt des gesättigten Dampfes kann beim Eintritt in die verschiedenen Cylinder bestimmt werden. Zur Verwendung kommt hierbei ein Drosselcalorimeter, wie es in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure Jahrg. 98, S. 664 beschrieben und erläutert ist. Es kann daher auf die Beschreibung derselben hier verzichtet werden.

c) Andere Versuche.

Von weiteren Versuchen, die an der Maschine vorgenommen werden können, erwähne ich diejenigen zur Bestimmung des Schieberreibungswiderstandes. Diese Versuche lassen sich bequem durch Benutzung des hydraulischen Kraftcylinders der Maschine ausführen. Zu diesem Zwecke ist der Kraftcylinder mit Indicirvorrichtung versehen.

Versuche über die Empfindlichkeit des Regulators bei Belastungsänderungen lassen sich dadurch bequem ausführen, dass die Geschwindigkeitsschwankungen mittels eines Horn'schen Tachographen aufgezeichnet werden können.

2. Dreifach-Verbundmaschine

für 150 effect. PS., gebaut von der Görlitzer Maschinenbauanstalt und Eisengiesserei, combinirt mit Ueberhitzer (Schwörer).

Während bei der Vulcanmaschine in der Regel mit gesättigtem Dampf, jedoch von sehr hoher Spannung gearbeitet werden soll, habe ich bei dem Entwurf der zweiten grösseren Versuchsmaschine des Laboratoriums eine weitgehende Anwendung der Dampfüberhitzung vorgesehen.

Mit Rücksicht auf die letztere wurden als Steuerungsorgane der Maschine Ventile gewählt, da diese grösseren Steigerungen der Dampftemperatur gegenüber am unempfindlichsten sind.

Das Neue und Eigenartige der Anordnung besteht darin, dass der Ueberhitzer mit der Dampfmaschine zu einem einheitlichen Ganzen combinirt ist, indem nicht nur der Dampf des Hochdruckcylinders überhitzt wird, sondern auch der Zudampf des Mitteldruckcylinders, wodurch sich enge Verbindung des Ueberhitzers mit der Maschine ergab. Diese Anordnung hat es aus constructiven Gründen zweckmässig erscheinen lassen, die beiden ersten Cylinder in Tandemanordnung horizontal aufzustellen und für beide Ventilsteuerung vorzusehen. Aus Rücksicht auf Raumersparniss ist der Niederdruckcylinder vertikal gebaut und zwar so, dass das Triebwerk auf derselben Kurbel angreift wie dasjenige der beiden anderen Cylinder. Diese Anordnung der Maschine, welche aus Fig. 34 in Gesammtansicht hervorgeht, ermöglicht nicht nur eine bequeme Rohrverbindung zwischen Ueberhitzer und den Cylindern, sondern gestattet auch eine gedrängte, wenig Breite beanspruchende Bauart sowie die Ausführung von nur zwei Triebwerken, ein wesentlicher Vortheil bei einer Dreifach-Verbundmaschine geringerer Leistung.

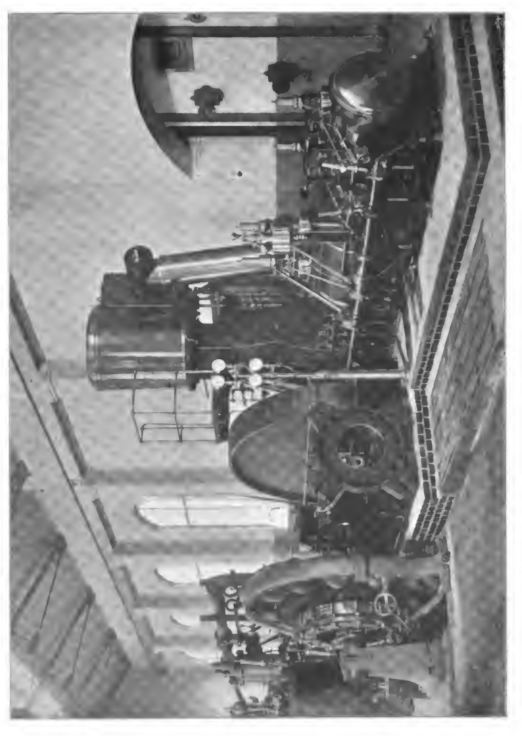


Fig. 34.

Die Maschine ist normal für 12 kg/qcm Ueberdruck Eintrittsspannung gebaut und leistet bei 270/430/675 mm Cylinderdurchmesser, 500 Hub und 150 minutlichen Umdrehungen 150 effect. PS. Das Triebwerk ist jedoch auch für 15 kg/qcm Dampfspannung noch ausreichend.

Die Anwendung eines besonderen Ueberhitzers mit eigener Feuerung wurde schon deswegen nöthig, weil die Entfernung der Hochdruckdampfkessel von der Maschine sehr gross ist, wodurch einerseits in der Leitung von überhitztem Dampf erhebliche Temperaturverluste eingetreten wären, andererseits die Bedienung des Ueberhitzers und die Uebersicht bei den Versuchen sehr erschwert worden wäre.

Der Ueberhitzer ist deshalb in nächster Nähe der Maschine in einem besonderen Raum aufgestellt worden. (Siehe Fig. 2 (Tafel I) und Fig. 34 rechts.)

Man hatte bereits versucht, bei Verbundmaschinen den zweiten Cylinder ebenfalls mit Ueberhitzung zu betreiben, indem man den heissen, von dem im Kesselhause liegenden Ueberhitzer kommenden Dampf zunächst zur Ueberhitzung des Aufnehmerdampfes benutzte

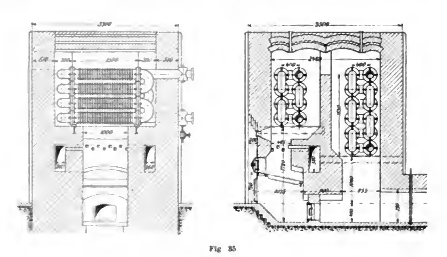


Fig. 35

und ihn dann erst in den Hochdruckcylinder schickte. Bei der von mir getroffenen Anordnung wird die Ueberhitzung des Dampfes im Aufnehmer unmittelbar von dem Ueberhitzer selbst besorgt. Es gehört deshalb das Rohrsystem des Ueberhitzers, welches von dem Dampf beim Ueberströmen vom ersten zum zweiten Cylinder durchflossen wird, zum Aufnehmerraum. Hieraus ergab sich ebenfalls die Nothwendigkeit, den Ueberhitzer unmittelbar bei der Maschine aufzustellen, wenn man nicht aussergewöhnlich grossen Aufnehmerraum und lange Rohrleitungen zulassen wollte.

Der Ueberhitzer, der in Fig. 35 dargestellt ist, besteht aus gusseisernen Rippenrohrsystemen (nach Schwörer) und wurde von der Maschinenfabrik Buckau geliefert.

Wie bekannt, besteht das Eigenartige dieses Ueberhitzers darin, dass die Flanschdichtungen in dem von den Heizgasen durchströmten Raum liegen, aber durch Metallringe und durch einen besonderen Rostkitt auf bewährte Weise gedichtet werden.

Der Apparat ist für 15 kg/qcm Betriebsdruck gebaut und mit 25 kg/qcm Wasserdruck geprüft. Die gesammte Heizfläche beträgt 150 qm, ausreichend zur Ueberhitzung von stündlich 2000 kg Dampf auf 350°.

Bei directer Befeuerung des Ueberhitzers muss, um die Gussrohre keiner zu hohen Temperatur auszusetzen, in den Feuerungsraum durch die seitlich angeordneten Canäle (siehe Fig. 35) überschüssige atmosphärische Luft zugeführt werden, so dass die höchste Temperatur der Heizgase in dem Ueberhitzer 700 bis 800° nicht überschreitet. Die Luftmenge ist durch Klappen regulirbar.

Der Ueberhitzer besteht aus zwei Rohrsystemen, welche nach Belieben für Versuchszwecke hinter einander oder neben einander geschaltet werden können.

In der Regel wird das eine System von dem zum Hochdruckcylinder strömenden Dampf durchflossen, während das andere System den Dampf aufnimmt, der vom Hochdruck- zum Mitteldruckcylinder überströmt.

Um eine besonders starke Ueberhitzung zu erzielen, kann jedoch der dem Hochdruckcylinder zuströmende Dampf durch beide Systeme geführt werden.

Ausserdem ist eine Einrichtung getroffen, auch überhitzten Dampf in die Hauptdampfleitung zu geben, welche von dieser Maschine weiter in das Laboratorium hineinführt, so dafs auch nur zeitweise im Laboratorium sich befindende Maschinen mit überhitztem Dampf untersucht werden können.

Fig. 34.

Beim Ueberströmen vom Mitteldruckcylinder zum Niederdruckcylinder ist Ueberhitzung vorläufig nicht vorgesehen.

Die einfachste und bequemste Rohrleitung bei der gekennzeichneten Verbindung zwischen Hoch- und Mitteldruckcylinder und Ueberhitzer ergab sich bei Aufstellung dieser beiden Cylinder in horizontaler Tandemanordnung.

Den Längsschnitt durch die Maschine stellt Fig. 36 dar, aus der sich auch das Wesentliche der Bauart der Cylinder ergibt.

Die Dampf-Ein- und Ausströmung des Hoch- und des Mitteldruckcylinders geschieht von unten (siehe Fig. 37). Beide Cylinder sind mit seitlich angeordneten Absperrventilen versehen. Hoch- und Mitteldruckcylinder sind durch ein seitlich offenes Zwischenstück verbunden, welches auf dem Rahmen aufgelagert ist und gleichzeitig eine Führung zur Unterstützung der Kolbenstange trägt. Der vordere Deckel des Hochdruckcylinders und der hintere Deckel des Mitteldruckcylinders können ohne Fortnahme des Zwischenstückes herausgenommen werden. Ebenso kann der Kolben des Mitteldruckcylinders aus der Oeffnung des Zwischenstückes entfernt werden. Die Kolben sind aus Gusseisen und mit je zwei gusseisernen Dichtungsringen versehen, welche durch einen Deckel eingebracht werden können. Die Kolbenringe werden durch Stahlfedern angepresst (siehe Fig. 40).

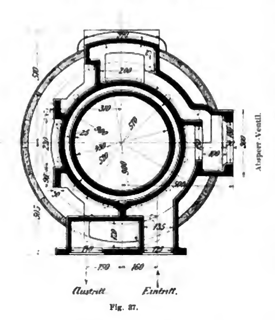


Fig. 37.

Auf die bei manchen Versuchsmaschinen vorgesehene Veränderung des schädlichen Raumes habe ich verzichtet, da dieselbe zeitraubende Montirungsarbeit erfordert, welche die Maschine zu lange dem Betriebe entziehen würde.

Die Kolbenstange des Hoch- und Mitteldruckcylinders ist aus einem Stück. Die Kolben sitzen auf Conus und sind verschraubt. Durch den Wegfall einer Kuppelung zwischen Hoch- und Mitteldruckcylinder ist die Baulänge der Maschine allerdings nicht wesentlich vermindert worden, da statt dessen eine Führung für die Kolbenstange angeordnet wurde.

Sämmtliche Cylinder sind mit Heizmänteln versehen, auf Deckelheizung ist mit Rücksicht auf die Umständlichkeit und die ohnehin geringe Wirksamkeit derselben bei Ueberhitzung verzichtet. Die Dampfmäntel sind, nicht wie bei Ventilmaschinen sonst üblich, aus einem Stück mit den Laufcylindern gegossen, sondern die letzteren sind eingesetzt und mit Kupferringen gedichtet. Die Einzelheiten der Cylinder ergeben sich aus den Figuren 36, 37, 38. Fig. 37 stellt den Querschnitt durch das Absperrventil dar, während in Fig. 38 der Cylinder durch die Ventilgehäuse geschnitten ist.

Um den Studirenden möglichst verschiedenartige Steuerungssysteme zu zeigen, ist der Hochdruckcylinder mit alter, der Mitteldruckcylinder mit neuer Collmannsteuerung versehen,

welche beide von einem und demselben Regulator beeinflusst werden können. Der Regulator ist deshalb auch zwischen beiden Cylindern auf dem Zwischenstück angeordnet. Bei Dreifach-Verbundbetrieb lässt man zweckmässig den Regulator nur auf die Hochdruckcylindersteuerung wirken und verstellt die Mitteldrucksteuerung von Hand. Da die Maschine, unter Ausschaltung des Hochdruckcylinders aber auch als Zweifach-Verbundmaschine arbeiten kann, so musste am Mitteldruckcylinder ausser der Verbindung der Steuerung mit dem Regulator auch ein besonderes Absperrventil vorgesehen werden.

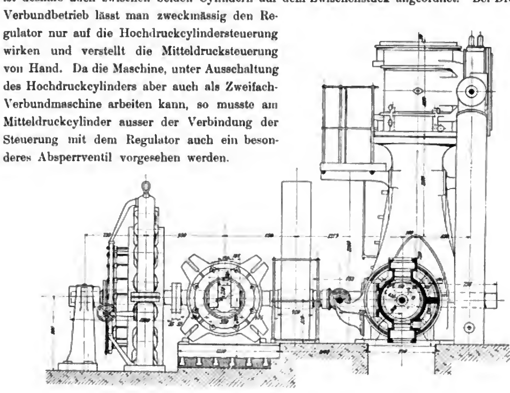


Fig. 38.

Die Einzelheiten der Ventilbauart sind für beide Cylinder gleich. Die Construction der Ventile des Mitteldruckcylinders sind in Fig. 39 dargestellt. Die oberen Sitzflächen der Ventile sind

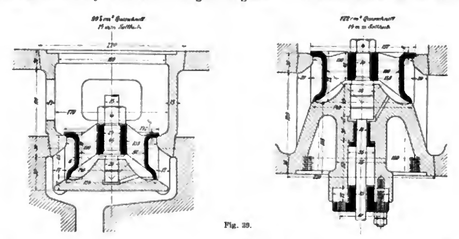


Fig. 39.

konisch, die unteren flach. Der Durchgangsquerschnitt der Ventile des Hochdruckcylinders beträgt 48,5 qcm, für Einlass und Auslass gleich, der des Mitteldruckcylinders ergibt sich aus der Figur.

Die Collmannsteuerungen sind zu bekannt, so dass von einer Beschreibung hier abgesehen werden kann. Die Abschlussgeschwindigkeiten der Ventile werden durch Ventilerhebungsdiagramme untersucht.

Neu ist bei den Cylindern die Anordnung, durch welche die schädlichen Räume derselben durch Ausfüllen mit Wasser rasch und genau bestimmt werden können.

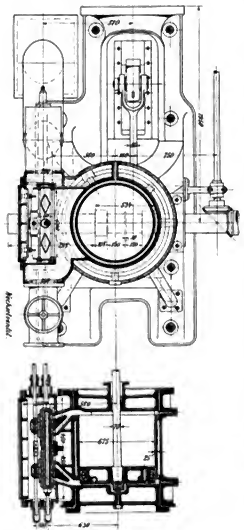


Fig. 40.

Zu diesem Zweck werden die Einlassventile durch offene besondere Ventile ersetzt, durch welche Wasser in die Cylinder eingeführt werden kann, während gleichzeitig die Luft entweicht. Diese hierdurch ermöglichte rasche Bestimmung der schädlichen Räume wird von den Studirenden besorgt und gestattet genaue Untersuchung der Dampfvertheilung.

Die Steuerwelle ist zwischen den Cylindern gekuppelt, theils um ein Klemmen in den Lagern bei der Ausdehnung der Cylinder zu verhüten, theils um die beiden Wellen gegeneinander verdrehen zu können.

Der Niederdruckcylinder wird durch zwei Stützen und einen gusseisernen Ständer getragen, die sich auf den die Kurbellager und die horizontale Kreuzkopfführung tragenden Grundrahmen aufsetzen (siehe Fig. 36 und 40).

Vom Mitteldruckcylinder aus wird der Dampf in einem schräg angeordneten, als Aufnehmer ausgebildeten Rohr dem Niederdruckcylinder zugeführt. Der Aufnehmer ist mit Heizmantel und Sicherheitsventil versehen.

Der Niederdruckcylinder (Fig. 40) hat Doppelschiebersteuerung, die zur Verbesserung der Einströmung als Gitterschieber ausgebildet ist. Das Grundexcenter ist verdrehbar, so dass Voreilung und Excentricität verändert werden können. Die Füllung kann nur von Hand verstellt werden.

Die verhältnissmässig grossen und schweren Schieber sind reichlich mit Entlastungsnuthen versehen.

Der untere Deckel des Niederdruckcylinders, der geheizt wird, ist mit dem gusseisernen Ständer nicht aus einem Stück gegossen, sondern besonders eingesetzt.

Der Kreuzkopf ist aus Schmiedeeisen hergestellt und mit einem gusseisernen Gleitschuh versehen. Die Kreuzkopfführung ist als Linearführung ausgebildet, die Gleitbahn jedoch nicht durch Hobeln bearbeitet, sondern gleichzeitig mit der Ausbohrung des Rahmens abgedreht worden. Sämmtliche Rahmen, die auf Fundament liegen, sind ausgemauert.

Die Pleuelstangen sind nach Art der Schiffsmaschinenstangen ausgeführt und umgreifen gabelförmig den Kreuzkopf. Für die Lagerschalen der Kreuzkopfzapfen ist wie gewöhnlich Rothguss gewählt.

Die beiden Gestänge der Maschine greifen auf demselben Kurbelzapfen neben einander an, so dass die Mittel der horizontal und des vertikal angeordneten Cylinders um 160 mm versetzt sind.

Die gekröpfte Welle, deren Abmessungen sich aus Fig. 38 ergeben, ist an der Dampfmaschine in zwei Hauptlagern, welche mit der Grundplatte aus einem Stück gegossen sind, dicht neben der Kurbel gelagert.

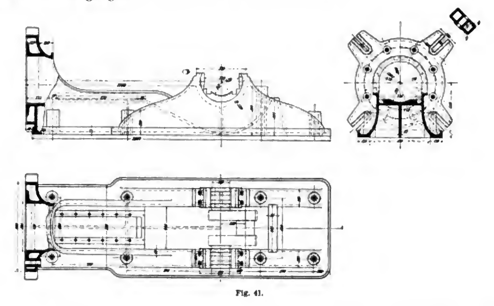


Fig. 41.

Das Schwungrad hat ein Gewicht von 4000 kg und 2,8 m Durchmesser. Dasselbe kann durch Blech verkleidet werden, um den Luftwiderstand der Arme auszuschalten und zu bestimmen.

Die Maschine macht normal 150 Umdrehungen in der Minute, kann jedoch bis auf 170 gesteigert werden. Zu diesem Zweck ist am Ende der vom Regulator bethätigten Welle (s. Fig. 34) ein verschiebbares Laufgewicht angebracht.

Ausser der Kurbel für die Dampfmaschine hat die Kurbelwelle eine zweite Kröpfung zur Anlenkung eines zweiten Kurbeltriebes. Von diesem zweiten Kurbeltrieb sind nur Rahmen, Kreuzkopf und Lenkstange ausgeführt, da er dazu bestimmt ist, zum Antrieb irgend welcher Kraft- oder Arbeitscylinder zu dienen. Zu diesem Zwecke ist der Rahmen, dessen Bauart sich aus Fig. 41 ergibt, ausser mit den gewöhnlichen Schraubenlöchern mit vier langgestreckten schlitzförmigen Ansätzen versehen, an welche die aufzustellenden Cylinder mittels Zugstangen bequem angeschlossen werden können. Zur Aufstellung dieser Cylinder (Pumpen-, Compressoren-, Gebläse- oder Dampfcylinder etc.) sind an der Kopfseite des Rahmens gusseiserne Roste eingemauert (Fig. 34).

Alle drei Dampfcylinder sind mit Kieselguhr und Holz isolirt und mit Stahlblechmänteln verschalt. Der Niederdruckcylinder hat einen Podest zur gefahrlosen Bedienung der Indicatoren.

Am Auslass des Niederdruckcylinders befindet sich ein Wechselventil, um den Dampf nach Belieben in den Oberflächencondensator oder in die Atmosphäre entlassen zu können.

Der Oberflächencondensator von 40 qm Kühlfläche ist als Centralcondensator bequem zugänglich vor der Maschine angeordnet und kann auch mit anderen Dampfmaschinen leicht verbunden, eventuell zu diesem Zweck mittels des Laufkrahns bequem transportirt werden. Der Condensator ist von Klein, Schanzlin & Becker in Frankenthal geliefert und zur Fortschaffung des Condensats mit einer Simplex-Blakepumpe combinirt. Zur Bestimmung des Dampfverbrauchs wird das letztere gewogen. Das Kühlwasser wird von einer elektrisch betriebenen Centrifugalpumpe zugeführt und kann beim Austritt aus dem Condensator gemessen werden. Die Gesammtanordnung der Condensation ergibt sich aus Fig. 42.



Fig. 42.

Für gewöhnlich wird die Görlitzer Maschine, ebenso wie die Vulcanmaschine, durch eine Dynamo *F* 800 der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft belastet, welche mittels einer festen Kuppelung angeschlossen ist.

Die Anordnung, eine Maschine gleichzeitig durch eine Dynamo und eine Pumpe (Compressor, Gebläse etc.) zu belasten, dürfte hier wohl zum ersten Male ausgeführt sein. Wird n u r mit der Pumpe gearbeitet, dann kann die Dynamomaschine einfach leer, d. h. nicht erregt, mitlaufen und der Anker dient lediglich als Schwungmasse. Die Bürsten können in diesem Falle abgehoben werden. Will man die Dynamomaschine allein belasten, so wird die Kuppelung der Versuchscylinderkolbenstange von dem Kreuzkopf gelöst. Es steht auch nichts im Wege, Dynamo und Versuchscylinder g l e i c h z e i t i g, wenn auch dann nicht vollständig, zu belasten.

Die Belastung e i n e r Dampfmaschine durch z w e i a n g e t r i e b e n e M a s c h i n e n abwechselnd oder gleichzeitig hat sich für den Laboratoriumsbetrieb sehr gut bewährt, und ich glaube, dass sie in manchen Fällen auch bei industriellen Anlagen mit Erfolg verwendet werden könnte, denn sie gewährt die Möglichkeit, z. B. bei geringem Bedarf von elektrischem Strom etc., die Dampfmaschine durch Zuschaltung der Pumpe etc. ökonomisch günstig zu belasten.

Um die Möglichkeit zu haben, mit Riemscheiben versehene Maschinen durch das Schwungrad der Dreifach-Verbundmaschine antreiben zu können, ist die Schwungradgrube an der äusseren Seite nicht vermauert und mit Blech abgedeckt. Nach Fortnahme des Oberflächencondensators kann der Riemen dann leicht abgeleitet werden.

Versuchseinrichtungen der Maschine.

Die Maschine ist in erster Linie für wärmetechnische Versuche bestimmt, insbesondere zur Klarstellung der Verhältnisse des überhitzten Dampfes. Es können daher die Dampfdrücke und die Dampftemperaturen beim Ein- und Austritt der Cylinder gemessen und die Condenswassermenge in den Mänteln und Aufnehmern bestimmt werden.

Ferner sind Studien über die Dampfverteilung vorgesehen, indem sämmtliche Punkte des Diagramms durch Veränderung der Steuerung beliebig einstellbar sind. Dies ist für Studirende von grossem Werth, da sie falsche und richtige Dampfvertheilung an der gleichen Maschine und ihre Einwirkung auf den Dampfverbrauch beobachten können.

Die Maschine ist ferner mit Einrichtungen versehen, um die Reibungswiderstände der einzelnen Maschinentheile und die durch sie bewirkten Arbeitsverluste zu bestimmen. Für die Triebwerkstheile wird dies dadurch gemessen, dass die Dynamo als Motor läuft und die zu untersuchenden Theile zu- und abgekuppelt werden, wodurch sich durch elektrische Präcisions-Messapparate die gewünschten Werthe genauer ermitteln lassen als durch Indicatorversuche. Die Widerstände der Steuerungsorgane können ebenfalls auf ähnliche Weise bestimmt werden.

Die hin- und hergehenden Massen sind theilweise durch Gegengewichte ausgeglichen, welche abnehmbar sind, so dass deren Einfluss studirt werden kann.

Ueber die einzelnen Versuchsresultate und Methoden werde ich seiner Zeit berichten.

3. Liegende Verbundmaschine

für normal 60 PS., gebaut von der Stettiner M.-B.-A.-G. Vulcan.

Es ist dies die erste Maschine, welche im Laboratorium zur Aufstellung gelangt ist, da dieselbe nach einem vorhandenen Modell gebaut ist und der Vulcan sich trotz der Ueberlastung seiner Werkstätten in liebenswürdiger Weise bereit erklärt hatte, die Maschine nach drei Monaten zu liefern. Sie gehört mit zu der grossen Schenkung des Herrn Geh. Reg.-Raths Riedler.

Die Maschine ist die gleiche wie diejenige des Wasserwerkes Stralsund; nur sind einige Aenderungen für Versuchszwecke, soweit sie sich an dem vorhandenen Modell leicht anbringen liessen, gemacht worden. Sie ist eine liegende Verbundmaschine der üblichen Anordnung von 340 resp. 530 Cylinderdurchmesser und 500 Kolben-Hub. Sie kann mit Auspuff und Einspritzcondensation betrieben werden und leistet im letzteren Falle bei 60 minutlichen Umdrehungen und 10 kg/qcm Dampfeintrittsspannung ca. 60 PS. Die Tourenzahl kann jedoch anstandslos auf mehr als 100 pro Minute gesteigert werden.

Die Bauart der Maschinenanlage ergibt sich aus den Fig. 43, 44 (Tafel II) und 45.

Belastet wird die Maschine durch eine an die verlängerte Kolbenstange des Hochdruckcylinders direct angeschlossene Pumpe, die weiter unten beschrieben ist. Von der verlängerten Kolbenstange des Niederdruckcylinders wird auf gemeinschaftlicher Fundamentplatte montirt, die Luftpumpe angetrieben, die so angeordnet ist, dass sie leicht fortgenommen und durch einen anderen Cylinder (Pumpe etc.) ersetzt werden kann. In diesem Fall wird die Maschine mit Auspuff betrieben.

Die Cylinder sind mit angegossenen Dampfmänteln umgeben, welche mit Frischdampf geheizt werden. Der Aufnehmer liegt zwischen den Cylindern unter Flur und ist ebenfalls mit Dampfheizung versehen. Mit dem Niederdruckcylinder ist er durch ein Stopfbüchsenrohr verbunden. Der Heizdampf geht nach einander durch Hochdruckcylinder —, Aufnehmer —, und Niederdruckcylindermantel hindurch (siehe Fig. 45).

Das Condenswasser aus den sämmtlichen Dampfmänteln und aus dem Aufnehmer wird durch Condenstöpfe einzeln abgezogen und von diesen durch Kühlschlangen gedrückt, von denen es entweder nach Belieben in die Canalisation abgeleitet oder behufs Wägung in Eimern aufgefangen werden kann.

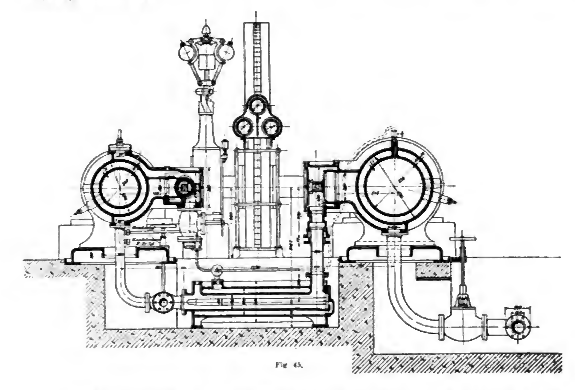


Fig. 45.

Der Hochdruckcylinder hat Ridersteuerung mit entlastetem Expansionsschieber, der Niederdruckcylinder von Hand veränderliche Meyer'sche Doppelschiebersteuerung.

Als Regulator ist ein solcher Pröll'scher Bauart ausgeführt, der auf die Ridersteuerung des Hochdruckcylinders einwirkt. Er kann bequem abgekuppelt und die Steuerung auch von Hand bedient werden. Der Dampfeintritt in den Schieberkasten des Hochdruckcylinders erfolgt von unten, wie überhaupt alle Rohrleitungen von unten zu- und abgehen.

Die Rohrverbindungen zwischen den Cylindern sind derart eingerichtet (siehe Fig. 44, Tafel II), dass sowohl Hochdruck- wie Niederdruckcylinder mit Auspuff und mit Condensation allein arbeiten können. Zu diesem Zweck ist in das Auspuffrohr des Hochdruckcylinders ein Wechselventil eingeschaltet, durch welches der Dampf nach Belieben in den Aufnehmer oder zur Auspuffleitung des Niederdruckcylinders geführt werden kann. Von hier tritt der Dampf in die Atmo-

sphäre oder in den Einspritzcondensator, je nachdem das Absperrventil nach der einen oder anderen Richtung geöffnet ist.

Diese Anordnung erweist sich zu Unterrichtszwecken als sehr vortheilhaft, da es möglich ist, mit dem einen Cylinder die Maschine zu betreiben, und die Studirenden in dem geöffneten Schieberkasten des anderen Cylinders das Spiel der Steuerung beobachten zu lassen. Um die Einstellung der Steuerung bequem abmessen zu können, ist die Lage der Dampfcanäle durch Risse äusserlich kenntlich gemacht.

Bei der langen Rohrleitung zwischen Hochdruckcylinder und Condensator ist den Studirenden Gelegenheit gegeben, die schädigende Einwirkung dieser langen Rohrverbindung auf die Vacuumspannung im Cylinder zu studiren. Ferner wird die Maschine hauptsächlich dazu benutzt, um den Studirenden die Entwicklung der Verbundmaschine aus der Eincylindermaschine vorzuführen. Es sind ausserdem am Hochdruckcylinder Einrichtungen getroffen, um nach Belieben Verbindung zwischen der vorderen und der hinteren Cylinderseite herstellen zu können, um somit künstlich Kolbenundichtheit herbeizuführen und ihre Einwirkung auf das Diagramm erkennen zu lassen. Ebenso kann durch eine Verbindung des Schieberkastens mit der einen oder anderen Cylinderseite die Wirkung der Undichtheit der Schieber herbeigeführt werden.

Es ist ja bekannt, dass man an schlechten Maschinen mehr lernt wie an guten. Daher sind diese Versuchseinrichtnngen in hervorragendem Maasse geeignet, die Studirenden in der Beurtheilung der Dampfmaschine aus den Diagrammen und im Lesen der Letzteren zu unterweisen.

Der Einspritzcondensator (Fig. 44) ist eine doppelt wirkende Pumpe mit Gummiklappen, die durch mehrere Deckel bequem zugänglich sind. Das Einspritzwasser wird vom Sammelbrunnen durch den Condensator angesaugt. Die Vertheilung des Einspritzwassers im Condensatorraum erfolgt durch ein mit zahlreichen Löchern versehenes Kupferrohr. Die Wirkung der Vertheilung kann durch Glasdeckel beobachtet werden.

Mit Rücksicht auf die Einspritzcondensation wird der Dampfverbrauch der Maschine durch Messung des Speisewassers am Kessel und des Condenswassers in der Dampfleitung vom Kessel bis zur Maschine bestimmt. Die Messung des Letzteren erfolgt in der dicht bei der Maschine liegenden, als Messraum dienenden Unterkellerung (siehe Tafel I).

Die Rahmen der Maschine sind sehr kräftig ausgeführt, was ja bei Maschinen zum directen Antrieb von Pumpen immer zweckmässig ist. Aus demselben Grunde sind sie auch mit Cementmauerwerk ausgemauert.

Die übrigen Einzelheiten der Maschine ergeben sich aus den Figuren.

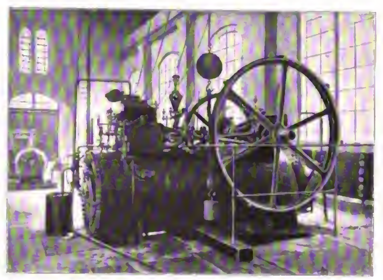


Fig. 46.

4. Verbundlocomobile mit Condensation
von R. Wolf, Magdeburg-Buckau.

Die Maschine ist ein Geschenk des Herrn Commerzienrath Wolf und für den Unterrichtsbetrieb des Laboratoriums von grossem Werth, da Kessel und Maschine unmittelbar bei einander, den Studirenden die Uebersicht wesentlich erleichtern. Die Gesammtansicht der sehr gefällig und vorzüglich ausgeführten Maschine ergibt sich aus Fig. 46, die Einzelheiten der Bauart aus der Fig. 47 und 48.

Die Locomobile ist, nach der bekannten Wolf'schen Bauart, mit ausziehbarem Röhrenkessel versehen, welcher in erster Linie dazu benutzt wird, um die Studirenden in den Kessel- und Heizbetrieb einzuführen. In Folge dessen ist der Kessel mit sämmtlichen Versuchseinrichtungen zur Entnahme von Rauchgasproben, Temperatur- und Zugmessungen versehen. Der Kessel hat als Speisevorrichtungen einen Injector und eine mit der Luftpumpe verbundene immer im Betrieb befindliche Speisepumpe, die das Wasser aus dem Ablauf des Condensators entnimmt. Die Speisepumpe wird durch Abschluss ihrer Saugleitung ausser Thätigkeit gesetzt.

Die Locomobile hat einen Einspritzcondensator und trägt zwei Schwungräder. Sie kann entweder mittels Riemen durch eine Dynamo belastet werden oder mittels selbstregulirender Seilbremse gebremst werden (siehe Fig. 46).

Die Cylinderdimensionen sind 175 resp. 320 mm Cylinderdurchmesser und 320 Kolbenhub. Bei 10 kg/qcm Dampfdruck und 135 minutl. Umdrehungen leistet die Maschine norm. 25, max. 40 PS. eff.

Der Hochdruckcylinder ist mit Riderschiebersteuerung versehen, welche vom Regulator bethätigt wird, während der Niederdruckcylinder von einem Muschelschieber mit Trickcanal

gesteuert wird. Durch Verstellung des Excenters kann hier die Voreilung und der Excenterhub verändert werden.

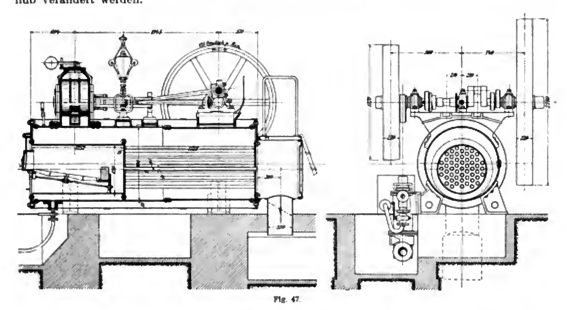


Fig. 47.

Am Schieberkasten des Hochdruckcylinders ist ein Dampfeintritt vorgesehen, durch den die Locomobilmaschine auch aus der Laboratoriumsdampfleitung gespeist werden kann. Zum leichteren Angehen der Maschine kann in den Schieberkasten des Niederdruckcylinders directer Dampf gegeben werden. Hoch- und Niederdruckcylinder liegen im Dampfraum des Kessels und sind daher ausgiebig geheizt.

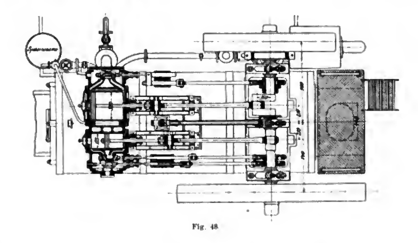


Fig. 48.

Der Dampfverbrauch wird durch Messung des Speisewassers sehr bequem bestimmt, wobei dann in der Regel die Locomobile von den Studirenden selbst bedient wird.

5. Verticale schnelllaufende Verbundmaschine

für normal 40 PS., gebaut von der Stettiner M.-B.-A.-G. Vulcan.

Die Maschine gehört zur Riedler'schen Schenkung und ist von dem Vulcan nach einem vorhandenen Modell gebaut, welches zum Antrieb der Dynamos für die elektrische Beleuchtung auf Schiffen verwendet wird und das sich bewährt hat.

Sie ist nach dem Schiffsmaschinentypus entworfen und auf einem kräftigen Grundrahmen ausgeführt, so dass sie mit dem Laufkrahn leicht im Laboratorium hin- und hergeschafft werden kann, um zum Antrieb von Dynamos, Pumpen etc. an jeder Stelle der Maschinenhalle benutzt zu werden.

Bei diesen im Laboratorium nicht fest aufgestellten Dampfmaschinen wird die Dampf-Zu- und -Abführung, wie schon Eingangs erwähnt, stets durch Metalldampfschläuche bewirkt (s. Fig. 49), die einen bequemen und raschen Anschluss an die vorhandenen Stutzen der Zu- und Abdampfleitungen ermöglichen. Diese Schläuche, die bis zu 20 kg/qcm Betriebsdampfdruck ausreichen, sind für die Zwecke des Laboratoriums vorzüglich geeignet. Sie sind von Witzenmann in Pforzheim bezogen.



Fig. 49.

Die Maschine leistet bei 200 resp. 350 mm Cylinderdurchmesser, 160 mm Hub, 400 Umdrehungen und 10 kg/qcm Dampfdruck ca. 40 PS. Hoch- und Niederdruckcylinder nebst den Schieberkasten sind aus einem Stück hergestellt. Da man auf Schiffen in den Beimaschinen mehr Werth auf Gewicht- und Raumersparniss als auf günstigen Dampfverbrauch legt, ist keine Heizung der Cylindermäntel ausgeführt. Der Hochdruckcylinder wird mit Kolbenschieber ohne Dichtungsringe, der Niederdruckcylinder mit einfachem Flachschieber mit Trickcanal gesteuert.

Der Querschnitt durch die Cylinder und Schieberkasten ist in Fig. 50 dargestellt.

Die Excenter beider Schieber können auf je einem feststehenden Excenter verschoben werden, so dass Voreilwinkel und Excenterhub veränderlich sind. Hierdurch ist die Veränderung der Füllung und beliebige Einstellung der Steuerung möglich. Die Kurbelwelle ist zweimal gekröpft und dreimal gelagert. Sämmtliche Lagerschalen sind aus Rothguss. Das freitragende Schwungrad kann zur Aufnahme eines Riemens dienen, ist ausserdem aber mit Mitnehmern versehen, um eine Kuppelung anzutreiben. Die Regulirung erfolgt durch einen Achsenregulator, der auf ein Drosselventil wirkt.

Für Studienzwecke wird die Maschine hauptsächlich dazu benutzt, um den Studirenden Gelegenheit zu geben, rasch laufende Maschinen richtig zu indiciren. Es kommen hierbei in der Regel Crosby-Indicatoren zur Verwendung.

Ausserdem kann der Einfluss der hin- und hergehenden Massen an der Maschine studirt werden und der Einfluss der Compression auf dieselben etc. Die Massendrücke sollen durch einen besonderen im Bau begriffenen Registrirapparat aufgezeichnet werden, während ihr Einfluss auf die Fundirung den Studirenden dadurch verständlich gemacht wird, dass die Maschine am Laufkrahn hängend betrieben wird.

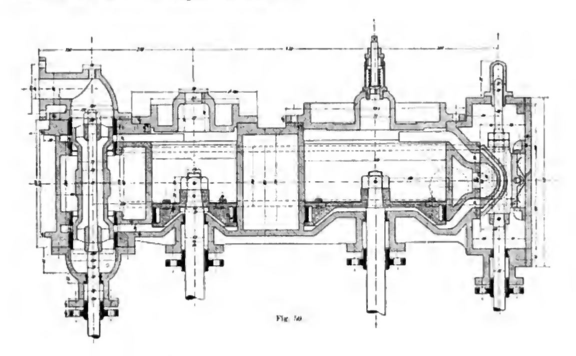


Fig. 50.

6. Kleinere Dampfmaschinen, Dampfpumpen etc.

Neben den vorstehend beschriebenen grösseren Dampfmaschinen befinden sich noch im Laboratorium oder in anderen Maschinenräumen der Hochschule eine Anzahl Maschinen, die für den Maschinenbetrieb der Hochschule dienen und auch bei Bedarf zu den Uebungen mit herangezogen werden:

1 Ventildampfmaschine, eincylindrig von 40 PS.,

1 Schiebermaschine mit Meyersteuerung von 8 PS.,

1 Duplexspeisepumpe von Klein, Schanzlin & Becker in Frankenthal (s. Fig. 8.),

1 Duplexspeisepumpe von Weise & Monski in Halle a. S. geschenkt,

1 Simplexdampfpumpe der Blake-Pumpengesellschaft.

E. Hydraulische Maschinen.

1. Pumpen.

Wasserwerks- und Presspumpe, gebaut von der M.-B.-G. „Breslau", vorm. Ruffer.

Hier kommt für den Laboratoriumsbetrieb in erster Linie eine nach meinen Entwürfen für Versuchszwecke gebaute Pumpe in Betracht, welche von der oben beschriebenen horizontalen Verbunddampfmaschine angetrieben wird. Die Pumpe ist genügend gross bemessen, um die Dampfmaschine vollständig durch sie belasten zu können.

Sie ist zum Zwecke construirt, einerseits als Versuchspumpe für Studien- und Lehrzwecke zu dienen, andererseits aber auch Druckwasser für den Bedarf des Laboratoriums zu erzeugen.

Zur Zeit des Entwurfes der Pumpe waren die Räumlichkeiten des Laboratoriums noch sehr beschränkt, so dass ich bestrebt sein musste, die Baulänge derselben so weit als möglich zu verringern. Dieselbe ist daher als Differentialpumpe mit Umführungsstangen ausgeführt. Diese Anordnung ergab die kürzeste Baulänge und gewährte ausserdem den Vortheil, dass man mit zwei bequem zugänglichen Stopfbüchsen auskam, so dass nach Auswechselung derselben sehr leicht andere Plunger eingebaut werden konnten.

Es wurden daher, um die Pumpe einmal als Wasserwerkspumpe, ein anderes Mal als Presspumpe zu betreiben, zwei Sätze von Plungern ausgeführt: ein Satz grosser Plunger von 350/250 mm Durchmesser, womit die Pumpe 3 cbm Wasser pro Minute auf 8 kg/qcm drückt, ein Satz kleiner Plunger von 220/160, womit 1 cbm Wasser auf 25 kg/qcm gebracht werden kann. In beiden Fällen ist die Dampfmaschine voll belastet.

Um keine zu grossen Abmessungen der Pumpenkörper und Ventile zu erhalten, ist die Geschwindigkeit in den Ventilen bei der Lieferung von minutl. 3 cbm verhältnissmässig hoch genommen; naturgemäss wird sie bei der Lieferung von 1 cbm Wasser (25 kg/qcm Wasserdruck) entsprechend niedrig. Durch Veränderung der Plungerdimensionen ist man daher auch in der Lage, die Wassergeschwindigkeit in den Ventilen zu verändern und deren Einfluss auf Pumpen- und Ventilgang zu studiren.

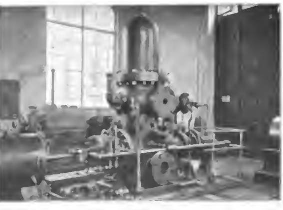


Fig. 51.

Die Gesammtansicht der Pumpe stellt Fig. 51 dar, während sich die Einzelheiten derselben aus den Figuren 43, 44 (Tafel II) und 52 ergeben. Die constructive Durchführung des Einbaues der kleinen Plunger zeigt Fig. 53.

Saug- und Druckventil, sowie Druckwindhaube sind senkrecht über einander angeordnet und auf einem kräftig fundirten,

mit Cement vergossenen Saugwindkessel aufgebaut, der mit dem den Hochdruckcylinder der Antriebsmaschine tragenden Grundrahmen stark verschraubt ist.

Der Ausgleichcylinder ist mit dem eigentlichen Pumpenkörper verschraubt. Um eine möglichst einfache Wasserführung zu erzielen, habe ich das Druckrohr an dem unteren Theil des Pumpenraums für den kleinen Plunger abgehen lassen und dadurch das bei Differentialpumpen sonst eintretende Hin- und Herpendeln der Wassersäule nach dem Differentialraum vermieden. Der Pumpenkasten, Druckraum, Druckleitung etc. sind mit Rücksicht auf den maximalen Betriebsdruck von 25 kg/qcm kräftig dimensionirt.

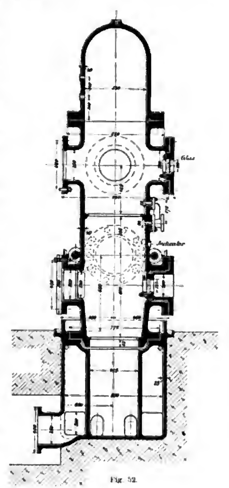


Fig. 52.

Die Flanschen sind sämmtlich mit Feder und Nut versehen und mit Gummiringen abgedichtet. Die Verbindung der Plunger mit den aus Stahlguss hergestellten Traversen zur Aufnahme der Umführungsstangen ist aus Fig. 43 (Tafel II) und 53 ersichtlich. Von der üblichen Keilverbindung ist Abstand genommen worden, um möglichst gedrängte Anordnung zu erhalten. Die Stopfbüchsen werden durch kleine Presscylinder mit Fett geschmiert. Da wegen der geringen angestrebten Baulänge ein Wasserkasten zum Abhalten der Luft bei der Saugperiode nicht angebracht werden konnte, wird die Stopfbüchse des grossen Plungers in einem Ringraum unter Druckwasser gesetzt.

Der Pumpenkörper ist mit zahlreichen Stutzen versehen, theils um die Einführung der Riedlersteuerung zu gestatten, theils um die Anbringung von Schaulöchern mit Glasverschlüssen zu ermöglichen,

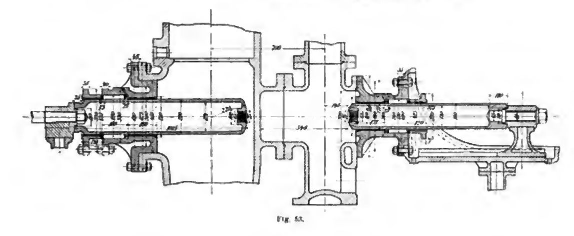


Fig. 53.

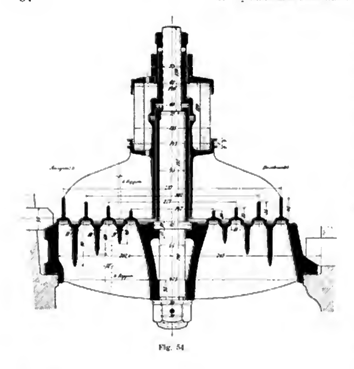


Fig. 54.

durch welche das Spiel der Ventile von aussen leicht beobachtet werden kann. Zu diesem Zweck wird die Pumpe von innen durch eine starke elektrische Glühlampe von 60 Kerzen beleuchtet. Die Beleuchtungseinrichtung ist derart getroffen, dass ein gebogenes Rohr, welches im Innern mit einer dicken Glasplatte abgedichtet ist, in die Pumpe eingesetzt und in dasselbe die Glühlampe eingeführt wird.

Die Ventile werden nach Wegnahme der Druckwindhaube von oben aus- und eingesetzt. Die Befestigung der Ventilsitze erfolgt durch vier von aussen nachziehbare Bolzen.

Für Studien- und Versuchszwecke habe ich Ventile verschiedener Bauart entworfen:

Selbstthätige Ventile (Fig. 54) für 8 kg/qcm Betriebsdruck mit Metalldichtung; ebensolche mit neuartigen Gummiventilen; gesteuerte Ventile mit Metalldichtung und mit Lederdichtung für 25 kg/qcm (Fig. 55).

Das selbstthätige Ventil (Fig. 54) ist als Ringventil mit sehr geringer Spaltbreite gebaut und möglichst leicht gehalten, um die Massenwirkung nach Möglichkeit einzuschränken. Das Ventil ist durch eine Gummifeder belastet, welche in ihrer Spannung verändert werden kann. Der Hub des Ventils kann entweder durch eine veränderliche Begrenzung eingestellt werden oder lediglich durch die gespannte Feder bewirkt werden.

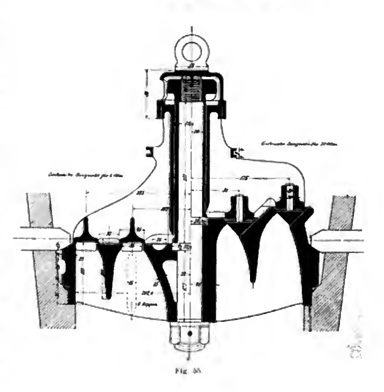


Fig. 55.

Es ist an der Pumpe eine Einrichtung vorgesehen, um Ventilerhebungsdiagramme zu entnehmen. Dieselbe ist in Fig. 56 dargestellt.

Zu diesem Zwecke sind an den Rippen der Ventile kreisförmige Nuten vorgesehen, in welche ein Gleitschuh passend eingesetzt werden kann, der mittels Hebel eine nach aussen geführte und durch Stopfbüchse gedichtete kleine Welle von 10 mm Durchmesser bei der Bewegung des Ventils in Drehung versetzt. Von dieser Welle aus wird mittels eines Hebels das Schreibzeug eines Indicators in Bewegung gebracht, so dass sich ohne Weiteres Ventilerhebungsdiagramme verzeichnen lassen. Die Ausführung einer kreisförmigen Nute für den Antrieb des Hebels ist nöthig, da ja die Ventile sich bekanntlich beim Betrieb drehen und auch drehen sollen.

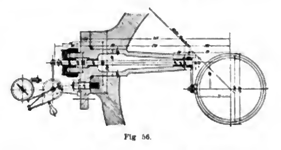


Fig. 56.

Diese Vorrichtung kann an sämmtlichen Ventilen angebracht werden. Es haben sich da sehr interessante Aufschlüsse über Ventilbewegung etc. bei Pumpen ergeben, deren Veröffentlichung ich mir für später vorbehalte.

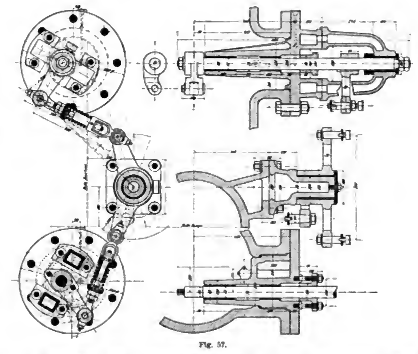


Fig. 57.

Um die Widerstände der Wasserbewegung bei den verschiedenen Geschwindigkeiten auszumitteln, können im Pumpen- und im Druckraum Diagramme entnommen werden. Um bei der Entnahme von Diagrammen im Pumpenraum die Luft vom Indicator abzuhalten, ist derselbe horizontal angeordnet.

Die Einzelheiten der Riedlersteuerung, die von der über den Schieberkasten hinaus verlängerten Schieberstange das Grundexcenters angetrieben wird, sind in Fig. 57 dargestellt. Von einem mit drei Zapfen versehenen Schwinghebel werden die Steuerwellen durch federnde, mit Kniehebelwirkung angeordnete Stangen angetrieben.

Die Pumpe saugt das Wasser unmittelbar aus dem Sammelbrunnen. Die Saugleitung hat kein Fussventil. Die Luft im Saugwindkessel kann durch den Einspritzcondensator der horizontalen Dampfmaschine, welche zum Antrieb der Pumpe benutzt wird, abgesaugt werden, resp. kann durch den Hahn nach Belieben Luft eingelassen werden (siehe Fig. 44, Tafel II).

Der Druckwindkessel der Pumpe kann entweder mittels Schnüffelventils mit Luft gefüllt werden oder durch einen Westinghouse-Luftcompressor. Die Luft aus dem Druckraum kann ebenfalls vollständig durch Auslasshähne entfernt werden, um den Studirenden den Einfluss der nicht mit Luft gefüllten Windhaube zu zeigen.

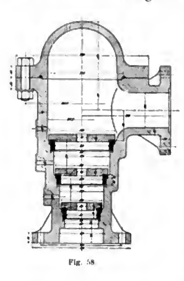


Fig. 58.

Das von der Pumpe kommende Druckwasser wird zunächst in einen Hauptdruckwindkessel geführt, welcher aus Schmiedeeisen geschweisst, also ohne Nietung hergestellt ist. Der lichte Durchmesser desselben beträgt 900 mm, die Höhe 2,5 m. Eine Ansicht desselben ist auf Fig. 49 zu finden. Von diesem Druckwindkessel kann das Wasser entweder durch eine Druckleitung (g auf Tafel I) in das Laboratorium zum Betrieb von Motoren geführt werden, oder es wird durch einen Drosselapparat geleitet, von dem aus es dem Sammelbrunnen wieder zufliesst.

Da eine Druckhöhe von 80 oder gar 250 m im Laboratorium nicht zu erreichen war, so habe ich von vornherein vorgesehen, den Widerstand für die Pumpe durch Drosselung herzustellen. Mit Rücksicht auf die durch die Drosselung bei 25 kg/qcm auftretende hohe Wassergeschwindigkeit, ist für die Druckminderung der Apparat gebaut, der in Fig. 58 dargestellt ist. In demselben wird das Wasser durch leicht auswechselbare, mit Oeffnungen versehene Stahlplatten gepresst. Die Oeffnungen sind gehörig abgerundet und die Stahlplatten sind gehärtet. Durch Einlegen verschiedener Platten kann der gewünschte Druck leicht erreicht werden. Die genaue Einstellung desselben erfolgt durch ein gewöhnliches Ventil, welches vor diesem Drosselapparat an dem Hauptdruckwindkessel angebracht ist. Das durch den Drosselapparat gepresste Wasser wird, um damit zu sparen und vor Allem um durch zu grosse Wassermengen nicht die Canalisation zu stark in Anspruch nehmen zu müssen, durch eine Rücklaufleitung wieder in den Sammelbrunnen zurückgeführt. Bei Versuchen an der Pumpe macht daher das Wasser in der Regel einen Kreislauf, wenn es nicht im Laboratorium zu anderen Zwecken benutzt wird. Diese Einrichtung des Rücklaufs gestattet, die Pumpe mit veränderlicher Saughöhe zu betreiben, indem der Wasserspiegel im Sammelbrunnen beim Kreislauf ja unverändert bleibt und auf einer beliebigen Höhe gehalten werden kann.

Der Wasserstand des Sammelbrunnens kann im Laboratorium durch einen pneumatischen Wasserstandsanzeiger von Schäffer & Budenberg beobachtet werden.

Durch die Verwendung immer derselben Wassermenge bei den Versuchen mit der Pumpe und durch die Drosselung erwärmt sich das Wasser bei continuirlichem Betrieb. Der Inhalt des Sammelbrunnens ist jedoch so gross, dass die Erwärmung erst nach vielstündigem Betrieb eine merkbare Grösse annimmt. In diesem Falle wird zeitweise kaltes Wasser zugesetzt.

Die Schaffung des Druckes bei der Pumpe durch starke Querschnittsverengung ist mit Gefahr verbunden und erfordert Achtsamkeit. Mit Rücksicht auf die Uebungen der Studirenden sind daher sowohl an der Pumpe als auch am Hauptdruckwindkessel Sicherheitsventile angebracht, welche verhüten, dass der Druck eine gefahrdrohende Höhe annimmt.

Der Hauptdruckwindkessel ist mit Wasserstandsgläsern mit Selbstschluss von Schumann & Co. in Leipzig versehen.

Die Füllung desselben mit Luft geschieht durch den schon genannten Westinghouse-Dampfcompressor. Die Pressluft dieses kleinen, vorzüglichen Compressors kann weiter noch zum Betrieb einer Mammuthpumpe benutzt werden, welche dicht neben dem Sammelbrunnen aufgestellt ist. Die Schaltung desselben auf die verschiedenen Luftleitungen erfolgt einfach durch einen Wechselhahn und Ventile.

Wird das von der grossen Wasserpumpe gelieferte Druckwasser in dem Laboratorium benutzt, so ist ein Kreislauf nicht möglich, und das entnommene Wasser muss in dem Sammelbrunnen ersetzt werden. Zu diesem Zweck dient die Mammuthpumpe und die Eingangs genannte Heberleitung von 250 mm l. W., die von dem nahe der Pumpe gelegenen Kellerraum aus durch einen Dampfejector in Betrieb gesetzt werden kann (siehe Tafel I).

Die Heberleitung liefert minutlich 1,4 cbm, die Mammuthpumpe 0,4 cbm, so dass minutlich insgesammt 1,8 cbm Wasser zur Verfügung stehen.

Bei Versuchen zur Bestimmung des volumetrischen Wirkungsgrades der Pumpe wird an dem mit Flanschen versehenen Rücklaufrohr ein mit einem Schwenkrohr ausgestattetes, vertikales Rohr angebracht, durch welches das zurücklaufende Wasser in Messgefässen von je 1 cbm Inhalt gemessen werden kann. Diese Behälter werden über dem Sammelbrunnen aufgestellt und das gemessene Wasser in den letzteren entlassen. Mit Rücksicht auf die bedeutenden, zu messenden Wassermengen sind diese Messgefässe mit durch Hebel zu bedienenden grossen Auslassventilen versehen.

An der Pumpe ist ferner eine Einrichtung vorgesehen, um die Reibungswiderstände der Plunger in den Stopfbüchsen zu messen. Es geschieht dies dadurch, dass die Dampfmaschine von den Plungern abgekuppelt wird und die letzteren durch Luftdruck bewegt werden.

Mit der Pumpe und den einzelnen Ventilen sind unter verschiedenen Umständen zahlreiche Versuche ausgeführt worden, welche allgemeineres Interesse bieten dürften und deren Veröffentlichung ich mir vorbehalte.

Elektrisch betriebene Centrifugalpumpe.

Dieselbe ist von Brodnitz & Seydel in Berlin ausgeführt und liefert bei 1350 Umdrehungen pro Minute 800 l Wasser unter Ueberwindung einer Saughöhe und Druckhöhe von je 6 m.

Der Elektromotor ist durch eine Lederkuppelung mit der Centrifugalpumpe verbunden, welche leicht abgenommen werden kann, so dass durch Bremsen des Elektromotors jederzeit

der Wirkungsgrad desselben festgestellt und somit der Arbeitsbedarf der Centrifugalpumpe ermittelt werden kann.

Der Anlasswiderstand des Motors ist auf einem Brett mit den elektrischen Messinstrumenten am Oberflächencondensator, für den die Pumpe das Kühlwasser liefert (s. Fig. 42), montirt. Derselbe hat eine weitgehende Regulirfähigkeit für Geschwindigkeitsveränderungen bis zu 15% über normal und bis zu 50% unter normal. Diese bei einem Electromotor leicht zu erreichende Regulirfähigkeit ermöglicht die Untersuchung der Pumpe unter den verschiedensten Verhältnissen.

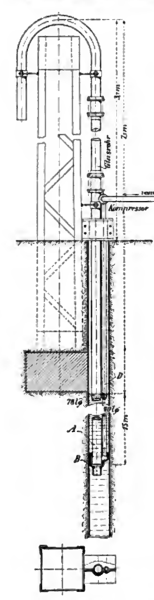


Fig. 59.

Die Pumpe saugt das Wasser ebenfalls aus dem Sammelbrunnen und drückt es durch den Oberflächencondensator der Görlitzer Maschine. Das Arbeiten mit verschiedener Saughöhe ist daher auch hier möglich, da, wie bei der grossen Pumpe, das Abflusswasser wieder in den Sammelbrunnen zurückgeleitet werden kann, der Wasserstand im Brunnen also auf derselben Höhe bleibt.

Beim Austritt des Kühlwassers aus dem Oberflächencondensator können über einem Abflussgerinne Messgefässe aufgestellt werden, um die von der Centrifugalpumpe gelieferte Wassermenge zu ermitteln.

Die Druckhöhe der Pumpe wird durch ein Manometer bestimmt.

Die Saugleitung der Centrifugalpumpe hat kein Fussventil. Dieselbe muss daher beim Ingangsetzen der Pumpe durch einen Dampfejector entlüftet werden. Um dabei ein Zurücktreten der Luft durch die Druckleitung der Centrifugalpumpe zu vermeiden, ist in dieselbe eine Rückschlagsklappe mit Lederdichtung eingeschaltet, welche sich in der Richtung des durchströmenden Wassers öffnet.

Mammuthpumpe (Druckluftwasserheber).

Diese Pumpen haben in der neueren Zeit vielfach in der Industrie Beachtung gefunden, und es ist von dem Laboratorium mit Freuden begrüsst worden, dass die Firma A. Borsig demselben eine solche zur Verfügung gestellt hat. Diese Pumpe ist in Fig. 59 dargestellt und fördert aus einem 30 m tief niedergetriebenen Rohrbrunnen von 156 mm Durchmesser, in welchem das Grundwasser in der Regel 4 m unter Erdoberfläche steht. In dieses Bohrrohr ist die Mammuthpumpe eingehängt, die aus dem glatten Steig- oder Förderrohr *A* und dem sog. Fussstück *B* besteht, in das die Druckluft durch das Luftrohr *D* eingeführt wird. Das Fussstück ist so gebaut, dass die Luft am ganzen Umfange dem Förderrohre zuströmen kann.

Lässt man Druckluft von einer Spannung entsprechend der Höhe der über dem Fussstück stehenden Wassersäule in das Luftzuführungsrohr eintreten, so wird sich im Förderrohr ein Gemisch von Luft und Wasser bilden, das von der ausserhalb desselben befindlichen Wassersäule hoch getrieben wird. Diese muss deshalb für eine bestimmte Förderhöhe eine bestimmte Grösse haben, d. h. die Eintauchtiefe des Wasserhebers richtet sich nach der Förderhöhe, auf welche das Gemisch von Wasser und Luft gehoben werden soll. Sie beträgt bei Wasser in der Regel das Ein- bis Anderthalbfache der Förderhöhe, was allerdings unter Umständen sehr tiefe Brunnen ergibt.

Luft- und Steigerohr liegen dicht neben einander, damit das zu ihrer Aufnahme bestimmte Brunnenrohr möglichst kleinen Durchmesser erhält. Die Rohre sind mittels einer gusseisernen Schelle befestigt, die sich auf den oberen Rand des Bohrrohres aufstützt. Bei der Versuchspumpe ist ein Stück des eisernen Förderrohres über dem Erdboden durch Glasrohr ersetzt, damit man das aufsteigende Wasser- und Luftgemisch beobachten kann. Das Förderrohr giesst in einen Behälter frei aus. Das Wasser der Pumpe wird in einem 2 cbm enthaltenden Messgefässe aufgefangen und kann von dem letzteren in den Sammelbrunnen entlassen werden.

Die mit der Pumpe und anderen gewonnenen Versuchsresultate werden in dem II. Heft der »Mitteilungen« mitgetheilt.

Kleinere Pumpen.

Es befinden sich noch verschiedene kleinere Pumpen im Laboratorium, deren Construction zu bekannt ist, als dass sie beschrieben zu werden verdienen; es sind alle direct angetriebene Dampfpumpen und bereits S. 51 erwähnt. Sie werden mit zu den Uebungen für die Studirenden herangezogen.

2. Hydraulische Motoren.

Riedler-Wassermotor.

Das durch die Presspumpe gelieferte Druckwasser kann durch die Leitung *g* (siehe Tafel I) in das Laboratorium geführt und dort zum Betrieb von hydraulischen Motoren benutzt werden.

Eine Maschine dieser Art besitzt das Laboratorium in einem für Studienzwecke sehr werthvollen, von Geheimrath Riedler entworfenen und geschenkten Wassermotor, der mit durch Regulator veränderlicher Füllung und Umsteuerung ausgestattet ist.

Die Seitenansicht des Motors ist aus Fig. 60 zu ersehen. Schnitt und Grundriss gibt die Fig. 61 wieder.

Derselbe leistet bei ca. 135 Umdrehungen pro Minute und 20 kg/qcm Wasserdruck 25 PS.

Das Druckwasser arbeitet auf zwei einfach wirkende Plunger, die die Bewegung auf Kurbeln mit 90% Versetzung durch Kreuzkopf und Lenkstange übertragen.

Zum Kraftausgleich bei Hin- und Hergang sind die Plunger als Differentialkolben ausgeführt, ähnlich wie bei Differentialpumpen. Die Dichtung der grossen Plunger erfolgt durch innen liegende Stopfbüchsen. Das Druckwasser tritt in den als Windkessel ausgebildeten, unten befindlichen Druckraum ein, das Abwasser fliesst oben ab.

Die Vertheilung des Wassers erfolgt durch einsitzige Pumpenventile, welche durch Federkraft entgegen der Wasserströmung öffnen. Durch Einwirkung der äusseren Steuerung erfolgt der Schluss der Ventile zwangläufig. Arbeitet z. B. der Motor mit 25% Füllung, so wird in dem entsprechenden Punkt des Hubes der Schluss des Einlassventils und das Öffnen des Auslassventils durch die Steuerung erfolgen. Durch das geöffnete Auslassventil tritt nun Wasser aus dem Abflussraum in den Arbeitsraum zurück. Das Auslassventil wird durch den Federdruck weiter geöffnet erhalten, auch während der rückkehrende Plunger das Wasser durch dasselbe herausdrückt, so lange bis die äussere Steuerung dasselbe zwangläufig

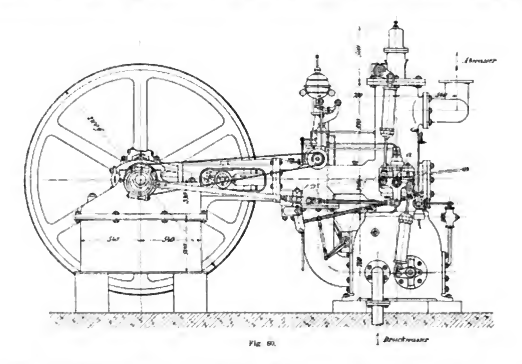


Fig. 60.

schliesst. Dieser Schluss muss unter allen Umständen vor dem Hubwechsel erfolgen, damit der weitereilende Plunger den Druck im Arbeitsraum so weit steigert, bis die Federkraft das Einlassventil zu öffnen vermag. Die Anordnung, dafs das Druckwasser unten eintritt, das abfliessende Wasser oben den Motor verlässt, ergab sich als Nothwendigkeit, um, wie oben bezeichnet, bei geringen Füllungen den Arbeitsraum aus dem Abflussraum nachfüllen zu können. Die Steuerung ergibt sich aus Fig. 60. Die Veränderung der Füllung und damit der Arbeitsleistung wird durch früheren oder späteren Schluss resp. Öffnen der Einlass- und Auslassventile bewirkt. Dies geschieht durch Verschiebung des Zapfens *a* des in Fig. 60 gezeichneten Steuerhebels. Diese Verschiebung wird durch Wasserdruck, der vom Regulator durch Kolbenschieber gesteuert wird, ausgeführt.

Die Umsteuerung und das Ingangsetzen erfolgt dadurch, dass durch besondere Hähne bei geschlossenen Ventilen Druckwasser derart in die Maschine eingelassen wird, dass dieselbe einen Impuls in der gewünschten Bewegungsrichtung empfängt. Da die Excenter um 180° gegen

die Kurbeln versetzt sind, so dreht sich die Maschine nach beiden Richtungen. Nöthig ist nur, dass die Drehung für die gewünschte Richtung eingeleitet wird. Die Steuerung dieser Hähne erfolgt durch Coulisse.

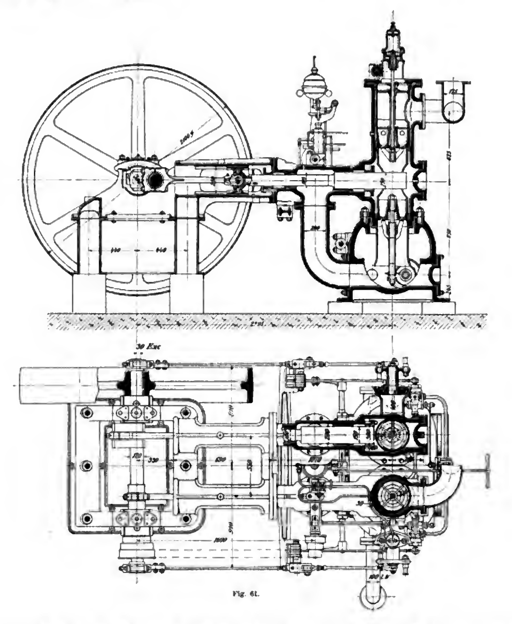


Fig. 61.

Der Motor ist besonders für Versuchszwecke gebaut und wird vorläufig durch Bremse belastet. Als Ventile können je nach dem Grad der Reinheit des Wassers solche mit Metall-, Leder- oder Holzdichtung verwendet werden. Die Veröffentlichung der genauen Versuchsresultate mit diesem Motor behalte ich mir für später vor.

Peltonrad.



Fig. 62.

Als zweiter Druckwassermotor steht dem Laboratorium ein kleineres Peltonrad zur Verfügung, das bei ca. 2000 Umdrehungen pro Minute und 20 kg/qcm Wasserdruck ca. 16 PS. leistet. Die Aufstellung desselben mit Bremse und Gefässen zur Feststellung der Leistung und der verbrauchten Wassermenge ergibt sich aus Fig. 62.

Der Wasserdruck wird durch ein genaues Manometer, dessen Richtigkeit jederzeit durch das Quecksilbermanometer controllirt werden kann, gemessen. Um bei der Manometermessung saugende resp. stossende Wirkung der in Bewegung befindlichen Wassersäule auf das Monometer zu vermeiden, wird ein Windkessel eingeschaltet, auf dem das Manometer angebracht ist.

F. Pneumatische Maschinen.

Gebläsemaschine.

Der an der Görlitzer Maschine ausgeführte Kurbeltrieb nebst Rahmen ist zum Antrieb irgend welcher Arbeitsmaschinen mit hin- und hergehender Kolbenbewegung geeignet, und von diesem wird daher der im Laboratorium befindliche Gebläsecylinder angetrieben.

Derselbe ist von Herrn Geh. Reg.-Rath Riedler geschenkt und so eingerichtet, dass auf der einen Seite sich die neueste Riedlersteuerung befindet, während ich auf der anderen Seite einen Ventilkasten zur Aufnahme selbstthätiger Gebläseventile entworfen habe. Der Cylinder, der in Fig. 63 und 64 dargestellt ist, hat einen Durchmesser von 850 mm bei 500 mm Hub und wird mit vier Stangen an die Augen des Kreuzkopfrahmens angeschlossen. Die auf der einen Seite des Gebläsecylinders angebrachte neueste Riedlersteuerung hat einen Corliss-Schieber für den Lufteinlass und ein durch den Kolben geschlossenes sogenanntes rückläufiges Druckventil für den Auslass. Das letztere ist in der Mitte des hinteren Cylinderdeckels angebracht (Fig. 64) und ist im Wesentlichen ein Doppelsitzventil aus Stahlguss, möglichst leicht gehalten, das durch Luftüberdruck in das Cylinderinnere, also entgegen der Kolbenbewegung geöffnet und von dem sich dem Totpunkt nähernden Kolben durch Zwischenschaltung einer Feder geschlossen wird. Zu diesem Zweck ist das Ventil mit zwei Ringkolben versehen von verschiedenem Querschnitt. Auf die Ringkolbenfläche *b* und *c* (Fig. 63 Längsschnitt) wirkt während der Saugperiode der Druck im Druckraum; der Druck auf die grössere Flächen (*b*) wird also das Ventil geschlossen halten. Steigt gegen Ende der Druckperiode der Druck im Cylinder über den im Druckraum, so wird er auf den beiden andern Flächen der Ringkolben wirksam. Der Ueberdruck bei *a* (dorthin gelangt er durch in der Zeichnung ersichtliche Fenster im Ventil) wird das Ventil öffnen.

Das Druckventil wiegt 8 kg und ist nach Lösung des Deckels leicht herauszunehmen. Es sind mit demselben bereits zahlreiche und eingehende Versuche vorgenommen worden, welche ich in dem zweiten Heft der »Mittheilungen« zu veröffentlichen gedenke. Der an der vorderen Seite des Gebläsecylinders vorgesehene Ventilkasten ist zur Aufnahme selbstthätiger

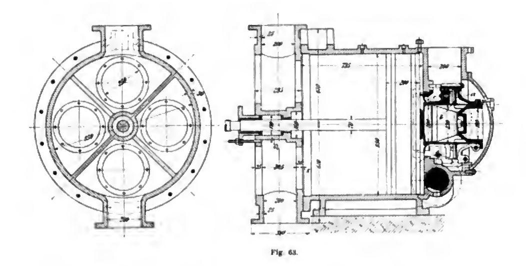


Fig. 63.

Ventile eingerichtet. Es sind im Saug- und Druckraum je zwei Oeffnungen zur Aufnahme der Saug- resp. Druckventile vorgesehen. Der Ventilkasten ist so gebaut, dass selbstthätige Ventile verschiedener Construction eingebaut und untersucht werden können.

Mit Rücksicht auf Versuche ist der Gebläsecylinder absichtlich mit sehr grossem schädlichen Raum ausgeführt, der mittels der Verschraubung der Kolbenstange mit dem Kreuzkopf durch Verschieben des Kolbens auf einer Seite beliebig eingestellt werden kann. Dies ergab constructiv die einfachste Lösung, bei der allerdings auf eine Einstellung des schädlichen Raumes auf der anderen gerade nicht zu Versuchen benutzten Kolbenseite verzichtet werden muss. Auf diese Weise kann der Abstand des Kolbens auf der betreffenden Seite vom Cylinderdeckel von 1 mm bis zu 30 mm verändert werden. Dies ist namentlich von Wichtigkeit bei den Versuchen mit dem gesteuerten Riedler-Ventil.

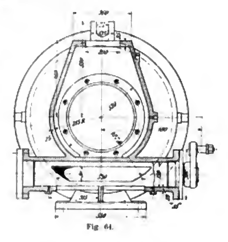


Fig. 64.

Der Gebläsecylinder arbeitet normal mit einem Druck von 0,6 kg/qcm, ist jedoch kräftig genug gebaut, um eine Steigerungsfähigkeit desselben bis auf 1 kg/qcm zuzulassen.

Diagramme können entnommen werden an den beiden Seiten des Cylinders und an den beiden Druckräumen.

Da hinter den letzteren ein grösserer Windkessel unmittelbar nicht aufgestellt werden konnte, so finden in der Druckleitung bei den hohen Umdrehungszahlen der Gebläsemaschine (bis zu 120 pro Minute) lebhafte Schwingungen der Luftsäule statt, welche durch den ziemlich weit von dem Gebläsecylinder entfernt liegenden Druckwindkessel nicht ausgeglichen werden.

Der Druckraum des Gebläsecylinders wird bei dem Betrieb an eine definitiv verlegte Druckleitung angeschlossen, welche in der Fig. 2 (Tafel I) mit *n* bezeichnet ist und die nach einem Hauptdruckwindkessel von 16,0 cbm Inhalt führt. Als solcher dient ein alter Dampfkessel. Der Luftdruck wird durch ein Ventil eingestellt, durch das die Luft auf jeden beliebigen Druck bis zu 1 kg/qcm gedrosselt werden kann.

Mit Rücksicht auf diese Schwankungen des Luftdruckes in der Druckleitung ist es nöthig, auch Diagramme in dem Druckraum dicht hinter dem Ventil zu entnehmen, einerseits um diese Schwankungen feststellen zu können, andererseits um in der Lage zu sein, die Widerstände der Luft beim Durchtritt durch das Druckventil und die Beschleunigungsdrücke für die Luftsäule in der Druckleitung bestimmen zu können.

Um die Bewegungen der Ventile beim Öffnen und Schliessen untersuchen zu können, sind dieselben mit Einrichtungen versehen, um Ventilerhebungsdiagramme abzunehmen.

Da es namentlich erwünscht ist, die Vorgänge beim Schluss und beim Oeffnen der Ventile auf diesen Diagrammen möglichst deutlich zu verzeichnen, wird die betreffende Indicatortrommel nicht von dem Kreuzkopf des Gebläses angetrieben, sondern von dem um 90° im Kurbelkreis versetzten Kreuzkopf der Dampfmaschine.

Verbundcompressor.

Für den Bedarf des Laboratoriums an Druckluft und für Studienzwecke beabsichtige ich noch zwei Compressorcylinder für Verbundbetrieb zu entwerfen und dieselben durch die Görlitzer Maschine oder durch Elektromotor antreiben zu lassen.

Ueber diese Compressoren werde ich seiner Zeit berichten.

Westinghouse-Dampfcompressor.

Derselbe dient zur Erzeugung der Druckluft, welche laufend in dem Laboratorium gebraucht wird, theils zum Füllen der Windkessel für die Pumpen etc., theils zum Betrieb der Mammuthpumpe u. s. w.

Der Compressor arbeitet entweder in die Druckhaube oder den Hauptdruckwindkessel der grossen Pumpe, oder in eine einzöllige Leitung, die durch das Maschinenlaboratorium gelegt ist, und die mit zahlreichen Anschlüssen versehen ist, so dass an irgend einer Stelle für den Windkessel einer Pumpe oder andere Zwecke Druckluft zur Verfügung steht.

Er vermag bei genügendem Dampfdruck, der ja im Maschinenlaboratorium beliebig vorhanden ist, Luft bis auf 12 kg/qcm zu comprimiren.

Die Construction ergibt sich aus Fig. 65 und ist die bekannte der Westinghouse-Compagnie, wie sie auf allen Locomotiven für Luftdruckbremsen üblich ist. Die Dimensionen ergeben sich aus der Figur, aus der auch die Anordnung der Steuerung des Dampfcylinders ersichtlich ist.

Der Compressor wird auch für Unterrichtszwecke mit herangezogen. Da er zum Indiciren nicht eingerichtet ist, kann die gelieferte Luftmenge deshalb nicht aus Diagrammen ermittelt werden, sondern dieselbe wird dadurch bestimmt, dass der Compressor in ein Luftreservoir arbeitet und das geförderte Luftvolumen aus der Anzahl der Hübe des Compressors und der Zunahme des Luftdrucks berechnet wird.

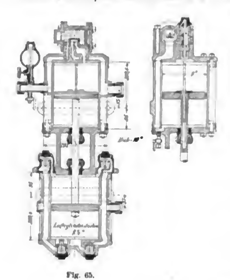


Fig. 65.

Centrifugalventilator.

Für Studien an Ventilatoren besitzt das Laboratorium einen von Gebrüder Sulzer, Winterthur, gebauten Centrifugalventilator, der bei einem äusseren Durchmesser des Schaufelrades von 750 mm und bei normal 1150 Umdrehungen ca. 70 cbm Luft pro Minute mit einer Pressung von 70 mm Wassersäule fördert. Am Rade sind vier Schaufeln angeordnet.

Der Ventilator wird durch einen direct gekuppelten Gleichstrommotor der S-Type der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft betrieben, der mit Anlasswiderstand für regulirbare Tourenzahl versehen ist.

Die Studirenden bestimmen bei verschiedenen Tourenzahlen die Luftpressung beim Austritt aus dem Ventilator mit Hülfe der Wassersäule und die geförderte Luftmenge entweder rechnerisch aus Luftgeschwindigkeiten und Rohrquerschnitt oder mittels des vorzüglichen Anemometers von Fuess in Steglitz bei Berlin.

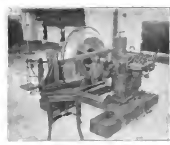


Fig. 66.

Der Kraftbedarf des Ventilators wird durch Ermittlung des Wattverbrauches des Elektromotors und durch nachfolgende Bremsung des Letzteren mittels des Prony'schen Zaums festgestellt.

Der Ventilator mit dem Motor und der aufgelegten Bremse ist in Fig. 66 dargestellt.

Druckluftmotoren.

Einen besonderen Druckluftmotor besitzt das Laboratorium nicht. Die Studien über Pressluftmotorenbetrieb werden vorläufig an der im Maschinenraum des Kesselhauses befindlichen kleinen achtpferdigen Betriebsdampfmaschine mit Meyersteuerung gemacht, die zu diesem Zweck an den Hauptdruckwindkessel des Laboratoriums durch eine Rohrleitung angeschlossen ist.

Nach Aufstellung des grossen Verbundcompressors wird zum Betrieb mit Druckluft eine im Laboratorium befindliche Dampfmaschine herangezogen, wobei der Ueberhitzer der Görlitzer Maschine als Vorwärmer dienen wird.

Vorläufig lassen sich an der keinen Maschine die Erscheinungen bei Expansion und Kaltluftbetrieb (Schneebildung) studiren. Ebenso lassen sich die Vortheile des Betriebs mit Expansion gegenüber Volldruckbetrieb und mit Vorwärmung der Luft durch Dampf nachweisen.

G. Die elektrischen Einrichtungen des Maschinenlaboratoriums.

Die Elektromotoren als Dynamometer.

Schon vor Einrichtung der elektrischen Beleuchtung hatte ich beschlossen, im Laboratorium eine ausgiebige Verwendung von Elektromotoren vorzusehen, theils weil ich der Ansicht bin, dass der Maschineningenieur heutzutage, auch wenn ihm eingehendere elektrotechnische Kenntnisse fehlen, doch mit den Eigenschaften der Elektromotoren vertraut sein muss, theils weil die Letzteren die geeigneten Antriebsmotoren für rasch laufende Maschinen sind, mit denen sie meistens direct gekuppelt werden können, so z. B. Centrifugalpumpen, Ventilatoren etc. Hierzu kommen nun in neuester Zeit die Bestrebungen, auch andere Maschinen rasch laufend zu bauen, so z. B. Pumpen, Compressoren, für welche der elektrische Antrieb ebenfalls ganz vorzüglich geeignet ist.

Die vortheilhaften Eigenschaften des elektrischen Antriebs kommen jedoch bei einem Laboratorium, das wie das beschriebene darauf eingerichtet ist, dass irgend welche Maschinen an irgend einer Stelle der Maschinenhalle in kürzester Zeit betriebsfertig aufgestellt werden können, besonders zur Geltung, da die Elektromotoren sehr geringe Ansprüche an die Fundamente stellen und es keinen einfacheren Anschluss als den mittels Kabel gibt.

Der Umstand, dass die elektrischen Maschinen von Studirenden des Maschinenbaus, die also specielle elektrotechnische Kenntnisse in der Regel nicht besitzen, bedient werden müssen, hat mich veranlasst, Gleichstrom zu wählen, obgleich ich für Motorbetrieb Drehstrom für unstreitig geeigneter halte. Jedoch ist die Berechnung des Arbeitsbedarfs der Drehstrommotoren wegen des cos φ Nichtelektrikern ohne Weiteres nicht leicht möglich, während bei den Gleichstrommaschinen durch die Ablesuug von Spannung und Stromstärke die elektrische Leistung sofort bestimmt werden kann.

Nachdem durch die Entwicklung des Laboratoriums der von den Dynamos erzeugte Strom für die Beleuchtung der Hochschule nutzbar gemacht werden sollte, musste eine Accumulatorenbatterie von solcher Grösse beschafft werden, dass sie die Leistung einer grossen Dynamo F 800 von 400 Amp bei 240 Volt vollständig aufnehmen konnte, da ja beabsichtigt war, den während des Unterrichtsbetriebs der Maschinen gewonnenen Strom für Beleuchtung aufzuspeichern. Es wurde deshalb eine von der Hagener Accumulatorenfabrik gelieferte Batterie von 1000 Amp-Stunden mit 400 Amp maximaler Entladestromstärke aufgestellt. Die Zellen werden durch von Hand betriebene Zellenschalter bedient. Die Schalthebel, Nullausschalter, Nebenschlussregulatoren und Messinstrumente wurden auf einer grossen Vertheilungsschalttafel untergebracht, die bequem zugänglich zwischen den beiden grossen Dynamos an der Südseite aufgestellt wurde.

Das Schaltbrett ist mit den Präcisionsmessinstrumenten für die Dynamos versehen. Der Maschinenstrom kann nach Belieben auf das Netz für Beleuchtung der Hochschule, für die Ladung der Accumulatoren oder auf Motoren und Widerstände geschaltet werden.

Die Arbeitsspannung der Dynamos beträgt 220 bis 240 Volt. Für die Lichtvertheilung ist Dreileitersystem gewählt, während die Motoren auf die Aussenleiter geschaltet sind.

Bei Lichtbetrieb wird in der Regel mit einer Dynamo und der Batterie parallel gearbeitet. Da die A. E.-G.-Dynamos mit Spannungstheiler zur Abnahme des 0-Leiters versehen sind, genügt der Betrieb einer Lichtmaschine. Die elektrischen Anlagen im Laboratorium sind von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft geliefert, während die Lieferung der Kabel nach dem Hauptgebäude und die elektrischen Anlagen in dem letzteren der Firma Siemens & Halske übertragen war.

Die Zusatzspannung beim Laden der Accumulatoren wird durch Erhöhung der Tourenzahl der Dampfmaschinen bewirkt.

Ausser den beiden grossen Dynamos *F* 800 der Allgemeinen Elektricitätsgesellschaft von 400 Amp bei 220 Volt, besitzt das Laboratorium eine kleinere auch oft als Motor benutzte Dynamo *S G* 400, welche sich durch ihre vielseitige Verwendbarkeit auszeichnet. Sie kann durch Parallel- resp. Hintereinanderschaltung der Magnete für 110 resp. 220 Volt eingerichtet werden. Dies lässt an sich schon einen erheblichen Spielraum in der Tourenzahl zu, der noch bedeutend dadurch vergrössert wird, dass verschiedene Riemenscheiben und Kupplungen zum directen Antrieb für dieselbe vorhanden sind.

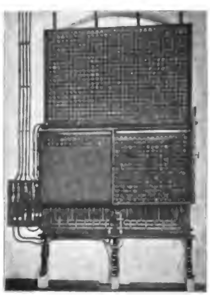


Fig. 67.

Die im Laboratorium benutzten Glühlampenwiderstände, ausreichend zur Aufnahme von 200 elektr. PS., sind denn auch dementsprechend eingerichtet, um auf 110 resp. 220 Volt geschaltet werden zu können. Sie sind in Fig. 67 dargestellt. Mittels Schalthebel kann die Belastung von 5 zu 5 PS. geändert werden.

Die weitere elektrische Ausrüstung wird vervollständigt durch verschiedene Elektromotoren der S-Type, welche zum grossen Theil von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in dankenswerther Weise zum Herstellungspreis abgegeben worden sind. — Wenngleich die bequeme Montirung und der leichte Anschluss der Dynamos und Elektromotoren mittelst Kabel in erster Linie für mich bestimmend war, eine weitgehende Verwendung derselben im Laboratorium vorzusehen, so hatte ich dabei doch noch im Auge, dass dieselben ganz vorzügliche Dynamometer darstellen, resp. zu solchen gemacht werden können.

Es ist möglich, den Wirkungsgrad der Dynamomaschine durch Feststellung der Widerstände, insbesondere der elektrischen, welche ja fast lediglich in Betracht kommen, für verschiedene Belastungen sehr genau zu bestimmen. Andererseits lassen sich die Motoren durch Bremsung leicht als Dynamometer benutzen, welche jedem anderen Apparat dieser Art in Bezug auf Genauigkeit und Einfachheit der Handhabung überlegen sind.

Die Elektromotoren sind Arbeitsmesser, welche jederzeit von den Studirenden auf ihre Richtigkeit geprüft werden können. In der That besteht eine der ersten Aufgaben, welche die Studirenden im dritten Semester im Laboratorium zu lösen haben, darin, dass sie Elektro-

motoren mit Bremsen verschiedener Construction belasten und den Wirkungsgrad der Ersteren bei veränderten Belastungen und constanter Spannung bestimmen. Die gefundenen Werthe, in einer Curve zusammengestellt, gestatten jederzeit aus der Anzahl der in den Motor eingeleiteten Watt den Wirkungsgrad abzulesen.



Fig. 68.

Auf diese Weise lasse ich den Kraftbedarf von Centrifugalpumpen, Ventilatoren und allen Maschinen bestimmen, welche sich zum directen Antrieb durch Elektromotoren eignen.

Die Effectverluste bei Riemen- und Seiltrieben werden ähnlich festgestellt, ebenso die Wirkungsgrade von Zahn- und Schneckentrieben.

An Letzteren besitzt das Laboratorium ein Schneckenvorgelege zum Uebertragen von 6 PS. von der bekannten Berliner Special-Fabrik Friedrich Stolzenberg & Co. geschenkt, das in Fig. 68 mit dem dazu gehörigen Elektromotor dargestellt ist. Zu Versuchszwecken kann ein fünf- oder ein eingängiges Schneckenrad eingesetzt werden. Die Schnecke ist aus Werkzeugstahl hergestellt und der axiale Druck wird durch Kugellager aufgenommen. Das Schneckenrad ist aus bester Bronce geschnitten. Der Elektromotor ruht auf Schienen und kann durch eine Klinkvorrichtung mittels Schrauben zum Zwecke der Loskuppelung von der Schnecke verschoben werden.

Bei dieser Gelegenheit sei erwähnt, dass das Laboratorium auch ein Transmissionsdynamometer von Fischinger, gebaut von der A.-G. Elektricitätswerke O. L. Kummer & Co. in Dresden, besitzt. Dasselbe ist in Fig. 69 abgebildet.

Bei der dargestellten Anordnung wird das Dynamometer mittels Riemen von einem Elektromotor angetrieben, während die übertragene Arbeit zur Prüfung der Genauigkeit des Dynamometers mittels Bremse abgenommen wird.

Das Dynamometer ist in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure bereits beschrieben worden.

Die Bestimmung der Tourenzahl bei den rasch laufenden Maschinen lasse ich nur in den Fällen, wo annähernde Feststellung genügt, durch Tachometer vornehmen, sonst durch die bekannten Tourenzähler, welche mit einer Spitze in einen Körner der rotirenden Welle eingedrückt werden.



Fig. 69.

Bei Versuchen, bei denen es auf grosse Genauigkeit ankommt, lasse ich die Tourenzähler stets zwangläufig von der Welle mitnehmen. Die gewöhnlichen Hubzähler, welche von Schäffer & Budenberg, Dreyer, Rosenkranz & Droop etc. bezogen sind, können bis zu verhältnissmässig hohen Tourenzahlen, 350 pro Minute, verwendet werden.

H. Kraftübertragungen.

Die Erzeugung der Energie in den verschiedenen Formen, als Dampf, Druckluft, Druckwasser und Elektricität, ermöglicht es, im Laboratorium Kraftübertragungen mit diesen Mitteln auszuführen und dieselben in Bezug auf Wirkungsgrad und Wirthschaftlichkeit zu untersuchen.

Obgleich der Dampf für Kraftübertragungen in grösserem Maassstabe heutzutage kaum mehr in Frage kommt, wenigstens nicht, wo es sich um ausgedehnte Anlagen handelt, spielt er im Maschinenlaboratorium, wo geringe Entfernungen in Betracht kommen, und wegen der Einfachheit der Erzeugung dieser Energieform eine hervorragende Rolle.

Während bei dem Transport der Energie durch Dampf an die Verbrauchsstelle die Wirthschaftlichkeit der Uebertragung in erster Linie abhängig ist von der Höhe der Dampfspannung, der Dampfgeschwindigkeit in der Rohrleitung sowie von der Länge und Wärmeleitungsfähigkeit der letzteren, Werthe, welche wir im Maschinenlaboratorium immerhin in weiten Grenzen zu ändern vermögen, ist sie bei den anderen Kraftübertragungsarten im Laboratorium weniger von den Verhältnissen der Uebertragung, sondern mehr von dem Wirkungsgrad der die Energie erzeugenden Maschinen abhängig.

Obgleich durch Dampf die Kraft unmittelbar und einfacher übertragen werden kann als durch Wasser, Luft oder elektrischen Strom, so ist es doch sehr lehrreich, nachzuweisen, dass der Betrieb der vielen kleineren Arbeitsmaschinen im Laboratorium wirthschaftlicher durch den von vorzüglichen grossen Maschinen erzeugten elektrischen Strom bewirkt wird als durch eine Anzahl kleiner Dampfmotoren mit naturgemäss hohem Dampfverbrauch und grossen Condensationsverlusten.

Wenn das auch nicht in annähernd gleichem Maasse von der Druckluft gilt, so spielt dieselbe doch heutzutage in der Technik immer noch eine hervorragende Rolle. Obgleich sie für Kraftübertragungen in Städten ernstlich nicht mehr in Frage kommt, so bewährt sie sich noch immer im Bergbau, denn es gibt noch kein Kraftmittel, welches sich so vorzüglich zum Antrieb von Bohrmaschinen, Haspeln etc. eignet und welches den Zufälligkeiten des Bergbetriebes gegenüber so unempfindlich ist wie dieses.

Durch Verwendung eines Compressors mit zweistufiger Compression ohne Wassereinspritzung, aber mit Mantel- und Zwischenkühlung, werden die Studirenden in der Lage sein, auszumitteln, durch wieviel kg Dampf ein cbm Luft in der Stunde angesaugt und auf verschiedene Drücke gepresst werden kann. Ebenso werden sie den Verbrauch der mit Druckluft verschiedener Spannung und unter verschiedenen Verhältnissen betriebenen Motoren feststellen können.

Die Druckluft kann mit verschiedenen Geschwindigkeiten durch Leitungen geführt und in Luftmaschinen zum Arbeiten veranlasst werden, ohne Vorwärmung, mit und ohne Expansion, mit Vorwärmung durch Heizgase und auch durch Dampfeinspritzung.

Da nächst der Druckluft-Kraftübertragung für Berg- und Hüttenzwecke in neuerer Zeit unter gewissen Verhältnissen hydraulische Uebertragungen wieder angewendet werden, wie die mehrfachen Ausführungen von Schwarzkopff in Berlin und Haniel & Lueg in Düsseldorf im westfälischen und rheinischen Revier beweisen, so habe ich Werth darauf gelegt, auch dieses im Laboratorium auszuprobiren. Das Druckwasser erzeugt die Presspumpe; als Motoren haben wir vorläufig das Peltonrad und den Riedler-Wassermotor, deren Energiebedarf an Presswasser wir durch Messung der verbrauchten Wassermenge und des Druckes mit Leichtigkeit feststellen können, während der Wirkungsgrad der Uebertragung noch durch Bestimmung des Arbeitsbedarfs der Pumpe und die Wirthschaftlichkeit der Kraftübertragung durch Feststellung des Dampfverbrauchs der Dampfmaschine ermittelt werden kann. Turbinen sind in dem Laboratorium vorläufig nicht vorgesehen, da Aussicht vorhanden ist, dass eine besondere Versuchsanstalt für diese in nächster Nähe der Hochschule am Landwehrkanal gebaut wird, wo grosse Wassermengen und Gefälle vorhanden ist.

Hierzu kommt nun die neueste Kraftübertragungsart, die nicht nur für Städte die hervorragendste Bedeutung hat, sondern auch für Bergbetrieb und Fabriken wachsendes Interesse gewinnt, die elektrische Kraftübertragung.

Wenn nicht der Elektromotorbetrieb für manche Zwecke, wie z. B. für grössere Förder- und Reversirmaschinen, in Folge der Schwierigkeit des unabhängigen Anlassens der grösseren Motoren vorläufig ausgeschlossen wäre, so würden die Versuche mit hydraulischer Kraftcentralisirung und Uebertragung nicht mehr den Werth besitzen.

Bei den Versuchen mit der elektrischen Kraftübertragung muss nun allerdings auf Feststellung der Verluste in der Leitung verzichtet werden, da die im Laboratorium zur Verfügung stehenden Leitungslängen viel zu gering sind. Dagegen ist ohne Weiteres die Feststellung des Wirkungsgrades der Primärmaschine und des Motors möglich.

Besonders erleichtert und interessant wird der Vergleich zwischen diesen verschiedenen Kraftübertragungsarten dadurch, dass die antreibende Kraftmaschine nahezu in allen Fällen die gleiche ist. Wir können von der Görlitzer Maschine eine Dynamo, einen Compressor oder eine Pumpe antreiben lassen, eine Anordnung, wie sie für Vergleichsversuche nicht besser gedacht werden kann.

Es lassen sich mit den verschiedenen Kraftübertragungen selbstverständlich eine grosse Menge Versuche ausführen, welche auch bereits vorgesehen sind, zu deren Erledigung ich jedoch erst später schreiten kann.

Es dürfte unmöglich sein, die Versuche, die in dem Laboratorium bereits beim Bau in Aussicht genommen worden sind, vor den nächsten zwei bis drei Jahren zu Ende zu führen.

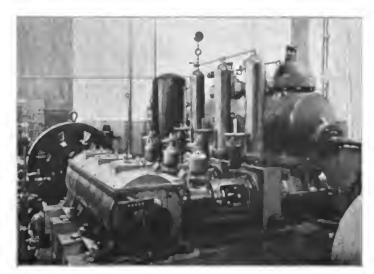


Fig. 70.

I. Hülfsmittel des Laboratoriums

zur Untersuchung fremder demselben zeitweise überlassener Maschinen.

Nachdem ich so im Grossen und Ganzen ein Bild von den Einrichtungen und Maschinen des Laboratoriums gegeben habe, möchte ich hervorheben, dass dieselben es ermöglichen, auch zeitweise dem Laboratorium zu Studien-, Versuchs- und Unterrichtszwecken überlassene Maschinen irgend welcher Art in demselben mit Leichtigkeit aufzustellen und zuverlässig auszuprobiren.

Da beim Parallelbetrieb der Kessel eine Dampfmenge von 4000 kg stündlich und 12 kg/qcm Spannung mit Leichtigkeit erzeugt werden kann, ist die Aufstellung selbst einer grossen, modernen Dampfmaschine bis zu 600 PS. möglich.

An elektrischer Energie können zeitweise durch Parallelschaltung der beiden Dynamomaschinen *F* 800 und der Batterie bis zu 1400 Amp. bei 220 Volt, also mehr als 400 Pferde an Kraft, abgegeben werden.

Damit ist man schon in der Lage, grosse Maschinen zwecks Untersuchung antreiben zu können.

Die Zufahrtseinrichtungen, der Laufkrahn, die Anordnung der Fundamente und der Rohrleitungen sind derart getroffen, dass fremde Maschinen sehr rasch betriebsfähig aufgestellt werden können.

Die in Form von Druckluft und Druckwasser zur Verfügung stehende Energiemenge ist zwar nicht so erheblich, sie wird aber auch in weitaus selteneren Fällen grösser benöthigt.

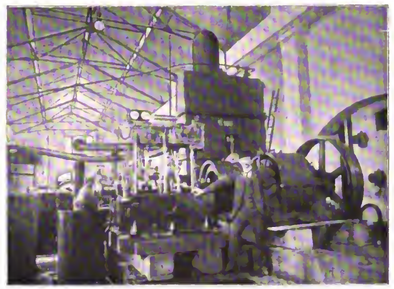


Fig. 71.

Trotzdem der Bau und die Einrichtungen des Maschinenlaboratoriums kaum vollendet sind, wurden doch theilweise während des Baues und unter schwierigen Verhältnissen schon eine erhebliche Anzahl Maschinen in demselben untersucht resp. neue Constructionen erprobt, so z. B.

eine rasch laufende elektrisch betriebene Wasserhaltungsmaschine, welche bei 200 minutlichen Umdrehungen 1 cbm auf 30 kg/qcm hebt. Die Anlage, wie sie im Maschinenlaboratorium aufgestellt war, ist in Fig. 70 dargestellt. Die Maschine ist einem 14 tägigen Dauerbetrieb (Tag und Nacht) unterworfen worden,

eine elektrisch betriebene Wasserhaltung für min. 3 cbm auf 100 m, die bei den Versuchen durch die direct gekuppelte verticale Verbund-Dampfmaschine angetrieben wurde (s. Fig. 71 u. 72), ein kleinerer Dampfcompressor (s. Fig. 73), Schneckenvorgelege, Grissonvorgelege, rauchverzehrende Feuerungen verschiedener Construction, Dampfdichtungen für Rohrleitungen und Ventile etc.

Hierzu kommen in neuester Zeit Versuche zur theilweisen Umsetzung der in den Auspuffproducten der Dampfmaschinen enthaltenen Wärme in Arbeit, Versuche, die als gelungen bezeichnet werden können und deren Bedeutung sich noch nicht absehen lässt. Ueber diese letzteren Versuche, sowie über einige der oben genannten werde ich in dem nächsten Heft der »Mittheilungen« berichten.

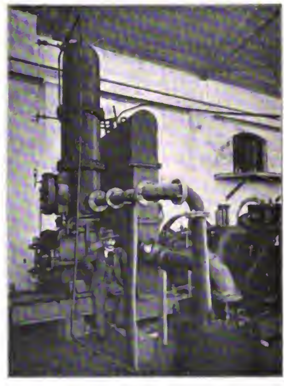


Fig. 72.

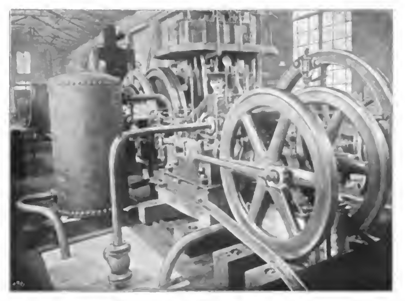


Fig. 73.

K. Laboratoriumsbetrieb.

Es dürfte interessiren, noch einige Angaben über den Betrieb und die Organisation des Laboratoriums zu erhalten.

Die Leitung des Unterrichts sowie der Betrieb des Laboratoriums, der elektrischen Beleuchtung und der sämmtlichen maschinellen Anlagen der Hochschule für Heizung und Lüftung unterstehen dem Verfasser.

Bei der engen Verbindung des Lichtbetriebs mit demjenigen des Laboratoriums liess sich diese Vereinigung, trotzdem sie eine starke Belastung für mich bedingt, nicht umgehen.

Personal.

Zur Entlastung für die Betriebsleitung, Instandhaltung der Maschinen, Verwaltung etc. ist mir in neuester Zeit ein Betriebsingenieur bewilligt worden.

Ausser diesem setzt sich das mir zur Verfügung stehende technische Personal für den laufenden Laboratoriumsbetrieb wie folgt zusammen:

A. Kesselbetrieb.

Für Betrieb und Instandhaltung der Heiz- und Hochdruckkessel

1 Oberheizer,
4 Heizer.

B. Maschinenbetrieb.

1 Obermaschinist.

1. Für Lüftungs- und Entwässerungsmaschinen
   2 Arbeiter.
2. Für die Laboratoriumsmaschinen
   3 Maschinisten,
   1 Schlosser.

C. Elektrische Beleuchtung.

1 Elektriker,

1 Mann zum Einsetzen der Kohlenstifte etc.

Die Gehälter und Löhne des Personals werden aus dem betreffenden Fond der Hochschule bezahlt.

Betriebskosten.

Für den gesammten Kessel- und Maschinenbetrieb stehen Kohlen, Gas und Leitungswasser nach Bedarf zur Verfügung und werden aus den allgemeinen Bedürfnissfonds der Hochschule bestritten.

Neubedarf, Oel, Putzmaterial etc. für die Heizungs- und Lüftungsmaschinen werden jedes Jahr auf Antrag bewilligt.

Für Beschaffung von Oel und Putzmaterial, Instandhaltung der Maschinen im Maschinenlaboratorium sowie für Neuanschaffungen zu Unterrichtszwecken stehen mir jährlich M. 10000 zur Verfügung.

Bei dem grossen Umfang, den der Unterrichtsbetrieb angenommen hat, dürfte jedoch diese Summe sowie das Personal auf die Dauer nicht ausreichen.

An Unterhaltungskosten für die elektrische Beleuchtung sind M. 2400 und für Beschaffung von Beleuchtungskohlen sind M. 2100 jährlich ausgesetzt.

Unterrichtsbetrieb des Laboratoriums.

Bei Aufstellung des Unterrichtsplanes für die Uebungen im Maschinenlaboratorium war der Grundsatz maassgebend, die Studirenden so frühzeitig wie möglich mit praktischer Thätigkeit vertraut zu machen. Der Unterricht beginnt daher schon im dritten Studiensemester mit einem halbjährigen Kursus, in welchem die Studierenden einfache Versuche vornehmen. Dadurch, dass dieselben so frühzeitig zu diesen praktischen Arbeiten herangezogen werden, soll einerseits das Anschauungs- und Dispositionsvermögen geweckt und dieselben zu selbstständigem Arbeiten angeleitet werden, so dass sie dem später fallenden Constructionsunterricht besser folgen können, andererseits soll damit zugleich eine Vorbereitung für den Hauptlaboratoriumsunterricht verknüpft sein, der im fünften und sechsten Semester möglichst im Anschluss an die Vorlesungen über den Bau von Dampfmaschinen, Pumpen, Gebläsen etc. abgehalten wird.

Bei dem Unterricht im Laboratorium verfolge ich den Grundsatz, die Studierenden möglichst selbständig arbeiten und die Versuche durch sie selbst ausführen zu lassen. Die

Uebungen finden daher lediglich in kleineren Gruppen von 5 bis 6 Personen statt. Die Aufgaben sind derart ausgewählt, dass jeder Theilnehmer während der Uebungen beschäftigt ist.

Die Hülfsmittel und die Grösse des Laboratoriums gestatten diese Art des Unterrichts, durch den meiner Ansicht nach wirklich das erreicht werden kann, was mit den Uebungen im Laboratorium bezweckt wird.

Das früher an den technischen Hochschulen nothgedrungen geübte System, bei dem eine Gruppe von 30 bis 40 Studirenden den Versuchen, die der Professor ausführt, zusieht, ist vollständig aufgegeben. Die Vorbereitung der Versuche geschieht grösstentheils auch von den Studirenden selbst, so z. B. das Aufsetzen der Indicatoren. Durch diese Art des Unterrichts wird, wie ich Grund habe zu glauben, das Interesse für die Uebungen in hohem Maasse angeregt.

Die Uebungen werden, wenn irgend möglich, in Form von zu lösenden Aufgaben abgehalten. Es wird von den Studirenden verlangt, dass die Lösung vorgelegt wird. Der Umfang dieser Aufgaben ist dabei so bemessen, dass das Ausrechnen unmittelbar bei den Versuchen neben den Maschinen erfolgen kann und die Studierenden mit langwierigen rechnerischen Arbeiten zu Hause nicht in Anspruch genommen werden. Es ist überhaupt bei dem ganzen Unterricht möglichst auf Concentrirung gesehen, da die Belastung der Studirenden durch Vorträge und andere Uebungen ohnehin schon erheblich ist.

Die in den Uebungen vorgenommenen Untersuchungen ergeben sich aus folgender Uebersicht.

Uebungen im Maschinenlaboratorium I.

(Drittes Semester, Halbjahrkurs, Winter- und Sommersemester.)

A. Untersuchungen von Maschinenelementen.

Prüfung von Flanschendichtungen und Packungen; Aichung von Manometern und Indicatorfedern; Untersuchung von Schneckengetrieben, Riemenübertragungen und Zahntrieben Dynamometer.

B. Einfache Untersuchungen von Motoren und kleineren Maschinen.

Auseinandernehmen und Wiederzusammensetzung derselben;

Bestimmung der effectiven Leistung von Elektromotoren und kleinen Dampfmaschinen durch Bremsen verschiedener Systeme;

Bestimmung der effectiven Leistung von kleineren Pumpen, Centrifugalpumpen, Ventilatoren, Peltonrad etc.

Handhabung von Tourenzählern, Tachoskopen, Tachometern, Anemometern und anderen Messinstrumenten.

Handhabung von Indicatoren und Hubreductoren verschiedener Systeme, Planimeter, sowie der elektrischen Messinstrumente.

Bestimmung der indicirten Leistung von elektrischen Maschinen, Pumpen und einfachen Dampfmaschinen.

Bestimmung des Wirkungsgrades der untersuchten Maschinen.

Uebungen im Maschinenlaboratorium II.

(Fünftes und sechstes Semester, Jahreskurs)

Die Uebungen schliessen sich so weit als möglich an die Vorlesungen über Dampfmaschinen und Arbeitsmaschinen an.

A. Dampfkessel.

Dampfkesselbetrieb. Wasserrohr- und Flammrohrkessel.

Studium der Vorgänge bei der Verbrennung. Analyse der Rauchgase. Feststellung des Heizwertes der Brennmaterialien. Zug- und Temperaturmessungen.

Speisevorrichtung; Bedienung derselben. Dampfpumpen. Injectoren.

Rauchverzehrende Feuerungen. Generatorgasfeuerung.

Verdampfungsversuche; Dampfleitung; Condensations- und Druckverluste in derselben. Compensationsvorrichtungen für Wärmeausdehnung. Ableitung des Condenswassers durch Condenstöpfe etc.

B. Dampfmaschinen.

Auseinandernehmen und Wiederzusammensetzen von Dampfmaschineneinzelheiten. Untersuchung verschiedener Steuerungen (Muschelschieber, Trick- und Kolbenschieber). Meyer- und Ridersteuerung, Ventilsteuerung (neue und alte Collmannsteuerung), Klug'sche Umsteuerung.

Untersuchung von Condensatoren und Luftpumpen, Einspritz- und Oberflächencondensatoren.

Dampfmaschinenbetrieb. Arbeiten an Ein-, Zwei-, Drei- und Viercylindermaschinen.

Dampfverbrauchsversuche an Ein- und Mehrcylindermaschinen mit Auspuff, mit Condensation, gesättigtem und überhitztem Dampf verschiedener Spannung bis 18 kg/qcm Ueberdruck.

Studium der Wärmevorgänge in Dampfmaschinen. Wärmebilanz. Einfluss von Mantel- und Aufnehmerbeizung. Bestimmung der Dampffeuchtigkeit mittels Drosselcalorimeters. Regulirung der Dampfmaschinen. Geschwindigkeitsverhältnisse bei Belastungsänderungen.

C. Wasserförderungsmaschinen.

Pumpenbetrieb. Untersuchung einer Wasserwerkspumpe. Bestimmung der Leistung, des volumetrischen und mechanischen Wirkungsgrades bei verschiedenen Tourenzahlen. Veränderung der Saug- und Druckhöhe. Untersuchung verschiedener Ventile (selbstthätiger und gesteuerter). Ventilbewegung; Ventilerhebungsdiagramme.

Dieselben Untersuchungen für Presspumpen. Druckwindkessel.

Heberleitung mit Ejector zum Absaugen der Luft.

Mammuthpumpe. Centrifugalpumpe.

D. Druckwassermaschinen.

Hydraulischer Motor mit veränderlicher Füllung und Umsteuerung etc.; Peltonmotor.

E. Luftförderungsmaschinen.

Centrifugalventilator. Verbundcompressor mit und ohne Wassereinspritzung, mit und ohne Mantelkühlung; Kühlung im Zwischenreservoir.

Gebläse mit verschiedenen Ventilen und Steuerungsorganen. Westinghouse-Luftcompressor.

F. Druckluftmaschinen.

Betrieb mit kalter Luft, mit und ohne Expansion, mit Vorwärmung durch Heizgase und Dampfeinspritzung.

G. Kältemaschinen (in Vorbereitung).

Kälte-Erzeugung, Kältemaschinenbetrieb, Messung der Kälteleistung, wärmetechnische Versuche.

H. Kraftübertragungen.

a) Durch Dampf,
b) durch Druckwasser,
c) durch Druckluft,
d) durch elektrischen Strom.

Bestimmung des Wirkungsgrades, der Wirthschaftlichkeit der Kraftübertragungen unter verschiedenen Verhältnissen.

Ausser diesen von den Studirenden laufend durchgeführten Uebungen besteht für ältere Herren ein Cursus mit beschränkter Theilnehmerzahl zur Ausführung wissenschaftlicher Untersuchungen, Specialarbeiten etc.

Zur Unterstützung bei dem Unterricht stehen mir ein ständiger Assistent und mehrere Hülfsassistenten zur Verfügung, deren Anzahl sich nach der Zahl der Studirenden richtet.

Bei der grossen Zahl von Studirenden, die zeitweise im Laboratorium beschäftigt sind, musste für die Verhütung von Unfällen in weitgehendem Maasse Sorge getragen werden. Es sind deswegen die Maschinen mit Schutzvorrichtungen in jeder Weise ausgerüstet. Ganz besonders aber wird den Studirenden die grösste Vorsicht selbst zur Pflicht gemacht, und werden dieselben durch Anschläge in allen Theilen des Laboratoriums und durch persönliche Einwirkung beständig auf die Gefahren des Betriebes und die eigene Verantwortlichkeit bei Vernachlässigung der nöthigen Vorsicht aufmerksam gemacht. Erfreulicher Weise ist bis heute kein Unfall zu verzeichnen.

Bei dem umfangreichen Unterricht (im letzten Wintersemester nahmen mehr als 250 Studirende wöchentlich daran theil) ist eine richtige Disposition der Uebungen unerlässlich. Ich habe dies bis jetzt in der Weise vorgenommen, dass ich die Aufgaben und die einzelnen Gruppen mit Nummern versehen habe und für jede Woche einen Uebungsplan entsprechend den zu stellenden Aufgaben und den Anforderungen des Maschinenbetriebs des Laboratoriums feststelle. Die Einrichtung hat sich sehr gut bewährt.

Ein solcher Uebungsplan ist nachfolgend abgedruckt.

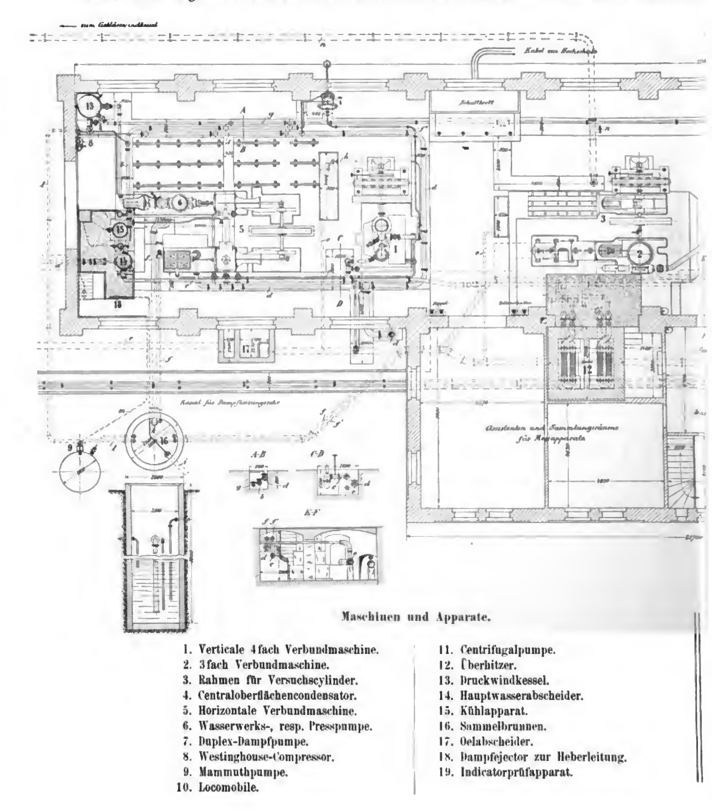
Maschinen-Laboratorium.

Uebungsplan

für die Woche vom 27. Februar bis 4. März 1899.

Uebungen I.

Gruppe Nr.	Zeit	Aufgabe Nr.	Uebungs-raum	Masch. Nr.	Gruppe Nr.	Zeit	Aufgabe Nr.	Uebungs-raum	Masch. Nr.
1	Dienst. 10	6	Masch.-R. im Kesselh.	17	16	Donst. $4^1/_2$	13	Masch. im Gartenhaus	
2	» »	51	Laborat.	9	17	» »	17	Laborat.	D
3	» 3	7	»	12	18	Freit. 9	51	»	9
4	Mittw. 10	51	»	9	19	» 10	2	»	14
5	» »	9	»	C	20	» 2	51	»	9
6	» 3	11	Laborat.		21	» »	17	»	D
7	» »	3	Laborat.	15	22	Donst. $4^1/_2$	5	Masch.-R. im Kesselh.	16
8	» 4	12	Laborat.						
9	» »	9	Laborat.	C					
10	Donst. 10	51	»	9					
11	» »	6	Masch.-R. im Kesselh.	17					
12	» $2^1/_2$	8	»	—					
13	» »	9	Laborat.	C					
14	» »	17	»	D					
15	» »	51	»	9					
			Uebungen II.						
31	Dienst. 9	72	Laborat.	Loc.	41	Freit. 3	59	Laborat.	6
32	» »	72	»	»	42	» »	62	»	5
33	» »	55	Kesselhaus	—	43	» 9	53	Kesselhaus	—
34	» 10	61a	Laborat.	—	44	» »	72	Laborat.	Loc.
35	» 3	62	»	5	45	» »	72	»	»
36	Mittw. 10	71	»	Loc.	46	Donst. 2	58	»	5
37	» »	71	»	»					
38	» 3	60	»	6					
39	» »	54	Kesselhaus	—					
40	» »	55	»	—					

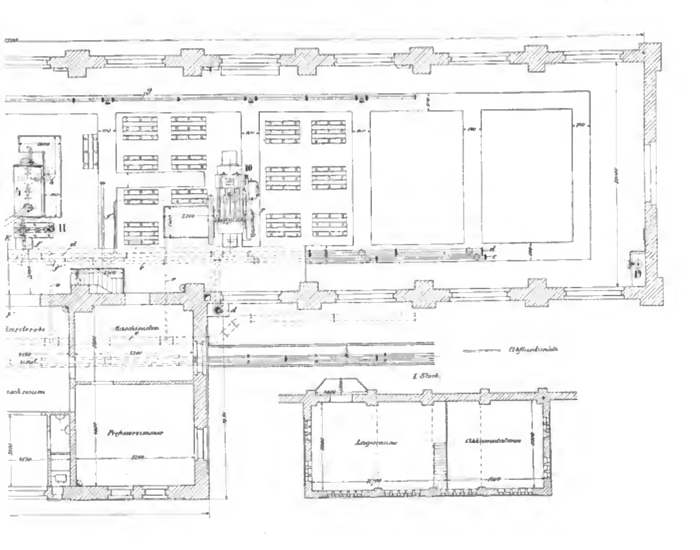


Maschinen und Apparate.

1. Verticale 4fach Verbundmaschine.
2. 3fach Verbundmaschine.
3. Rahmen für Versuchscylinder.
4. Centraloberflächencondensator.
5. Horizontale Verbundmaschine.
6. Wasserwerks-, resp. Presspumpe.
7. Duplex-Dampfpumpe.
8. Westinghouse-Compressor.
9. Mammuthpumpe.
10. Locomobile.
11. Centrifugalpumpe.
12. Überhitzer.
13. Druckwindkessel.
14. Hauptwasserabscheider.
15. Kühlapparat.
16. Sammelbrunnen.
17. Oelabscheider.
18. Dampfejector zur Heberleitung.
19. Indicatorprüfapparat.

Druck und Verlag von R. Oldenbourg in München

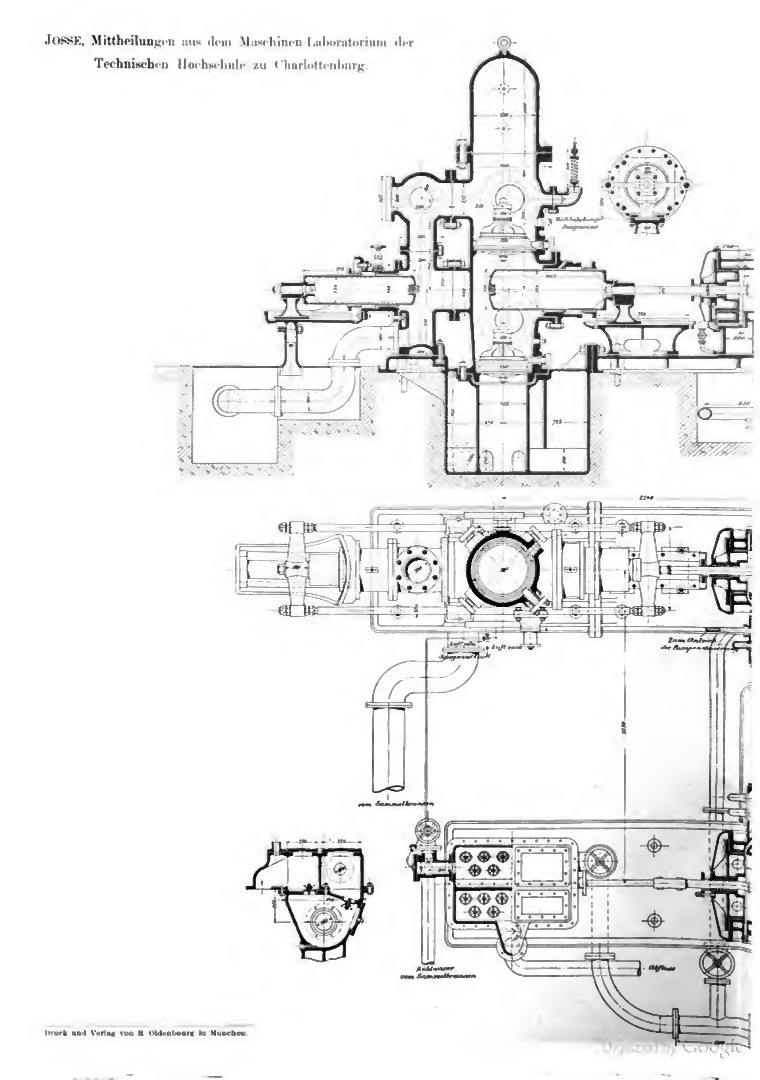
Tafel I.
(Fig. 2.)



Rohrleitungen.

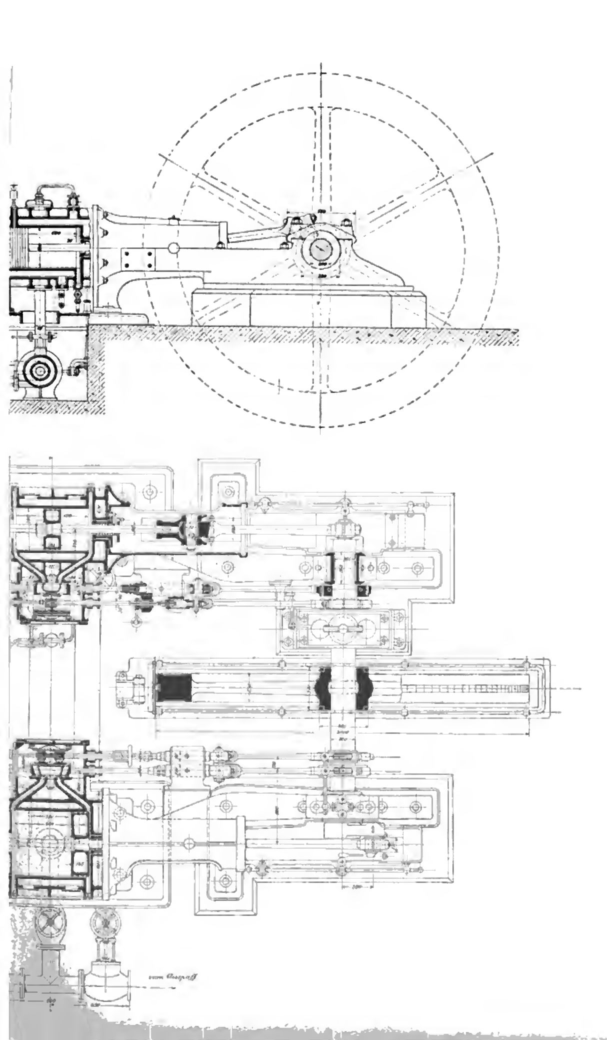
a) Hauptdampfleitung.
b) Frischdampfleitung (Südseite).
c) „ (Nordseite).
d) Auspuffleitungen.
e) Abwasserleitungen.
f) Saugleitungen.
f') Einspritzwasserleitung der Locomobile.
f'') Kühlwasserleitung für Condensator von Maschine 1.
g) Druckwasser- resp. Druckluftleitung.
h) Abflussleitung für das Condensat aus Oberflächen-Condensatoren.
i) Heberleitung.
k) Entlüftungsrohr der Heberleitung.
l) Rücklaufleitung der Maschine 6.
m) Druckluftleitung zur Mammuthpumpe.
n) Leitung zum Gebläsewindkessel.

JOSSE, Mittheilungen aus dem Maschinen-Laboratorium der Technischen Hochschule zu Charlottenburg.



Druck und Verlag von R. Oldenbourg in München.

Tafel II.
(Fig. 43, 44.)





MITTHEILUNGEN

AUS DEM

MASCHINEN-LABORATORIUM

DER

KGL. TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZU

BERLIN.

II. HEFT

HERAUSGEGEBEN ZUR HUNDERTJAHRFEIER DER HOCHSCHULE

VON

PROFESSOR E. JOSSE
VORSTEHER DES MASCHINEN-LABORATORIUMS

MIT 39 TEXTFIGUREN.



MÜNCHEN UND LEIPZIG.
DRUCK UND VERLAG VON R. OLDENBOURG.
1899.

INHALT.

Seite

Versuche zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades der Dampfmaschinen.

(Vorläufiger Bericht.)

Im Maschinenlaboratorium der Kgl. Technischen Hochschule zu Berlin habe ich in den letzten Monaten Versuche vorgenommen zum Zwecke, die Wärmeausnutzung in den Dampfmaschinen zu erhöhen. Diese Versuche, die jetzt zu einem gewissen Abschluss gekommen sind, müssen als vollständig gelungen bezeichnet werden.

Bei einer Verbunddampfmaschine mit Condensation von ca. 40 PS. konnten 56% der indicirten Leistung dieser Maschine ohne Mehraufwand an Dampf hinzugewonnen werden.

Die Versuche haben ein reiches Material geliefert, das längere Zeit zur Bearbeitung bedarf. Ich theile deshalb im Folgenden vorläufig nur das Wesen der Sache und die Versuchsergebnisse mit.

Es ist bekannt, dass der thermische Wirkungsgrad der Dampfmaschinen gering ist, und dass dieselben in dieser Beziehung von anderen Wärmekraftmaschinen, z. B. der Gasmaschine, überholt worden sind.

Wenn trotzdem die Dampfmaschine immer noch ihre hervorragende Stellung als Kraftmaschine behauptet, so liegt das daran, dass die anderen Wärmekraftmaschinen nicht diese unbedingte Sicherheit und Anpassungsfähigkeit bieten, welche die Dampfmaschine in so hervorragendem Maasse als Betriebsmaschine für alle Zwecke und Leistungen geeignet erscheinen lassen.

Es hat nicht an Bestrebungen gefehlt, den thermischen Effekt der Dampfmaschinen zu verbessern. Obgleich man durch Erhöhung der Dampfspannung, Anwendung der Ueberhitzung und Verbesserung der Kesselanlagen in den letzten Jahren manches erreicht hat, so hat sich doch durch diese Verbesserungen die Wärmeausnutzung in den Dampfmaschinen nicht wesentlich verschoben.

Es dürfte deshalb die Mittheilung von Interesse sein, dass die oben erwähnten neueren Versuche Ergebnisse hatten, welche in dieser Beziehung einen wesentlichen Fortschritt darstellen.

Es ist bekannt, dass in den Ausstossproducten der Dampfmaschinen, im Abdampf bei Auspuffmaschinen oder im Kühlwasser des Condensators der grössere Theil der in dem Dampfkessel zur Erzeugung von Dampf entwickelten Wärme für die Arbeitsleistung nutzlos abgeführt werden muss.

Der Gedanke, einen Theil der Wärme dadurch in Arbeit umzusetzen, dass man diese Wärmemenge von verhältnissmässig niederer Temperatur des Wärmeträgers, die bei Verwendung des gewöhnlichen Arbeitsmittels (Wasserdampf) nicht mehr ausgenutzt werden kann, zum Theil durch andere Arbeitsmittel mit niedriger liegendem Siedepunkt (Kaltdämpfe) verwerthen könnte, ist schon längst ausgesprochen worden.

Vor mehreren Jahren jedoch ist diese Idee von den Herren Gottlieb Behrend und Zimmermann in der präciseren Form eines Patentes zum Ausdruck gebracht und durch allerdings damals nicht befriedigende Versuche verwirklicht worden.

Der Grundgedanke des Patentes besteht darin, die in den Auspuffproducten der Dampfmaschinen enthaltene Wärmemenge (bei Auspuffmaschinen der Abdampf von 100°, bei Condensationsmaschinen derselbe von 65 bis 70°, entsprechend dem Vacuum) zur Verdampfung einer bei niederer Temperatur siedenden Flüssigkeit zu verwenden und diese hierbei erzeugten, hochgespannten Dämpfe derselben in einem Arbeitscylinder unter Arbeitsleistung auf denjenigen Druck zu erniedrigen, welcher der Temperatur des Kühlwassers entspricht.

Mit anderen Worten, der Vorgang besteht darin, einerseits das Temperaturgefälle in Wasserdampfmaschinen von der Condensatorspannung (65 bis 70°) herab zur Kühlwassertemperatur (15 bis 20°), das bei Wasserdampf unmittelbar nicht ausnutzbar ist, durch andere geeignetere Dämpfe zu verwerthen, andererseits dabei auch die grosse Wärmemenge, die, ohne in Arbeit verwandelt zu werden, durch die Dampfmaschine hindurchgeht, theilweise in Arbeit umzusetzen.

Die Herren Behrend und Zimmermann haben diesen Gedanken, dessen Richtigkeit und Ausführbarkeit von vielen Seiten bestritten worden war, mit anerkennenswerther Zähigkeit verfolgt und vor einigen Jahren versucht, denselben aus der Theorie in die Praxis umzusetzen. Sie hatten in Verbindung mit einer Maschinenfabrik eine Versuchsmaschine gebaut und in Betrieb gebracht; die Versuche haben jedoch in Folge verschiedener Umstände nicht befriedigt und scheiterten an praktischen Schwierigkeiten.

Sie liessen jedoch die Sache noch nicht fallen und traten im vorigen Jahre an mich heran mit dem Ersuchen, die Richtigkeit und Ausführbarkeit ihrer Idee zu prüfen und eventuell Versuche vorzunehmen.

Die Durchrechnung der ganzen thermischen Vorgänge ergab ohne Weiteres die Möglichkeit, nach dem oben angedeuteten System einen Theil der Wärme aus den Auspuffproducten der Dampfmaschinen in Arbeit umsetzen zu können. Die Berechnungen waren jedoch mit Genauigkeit nicht durchzuführen, da bei der Expansion der Kaltdämpfe in der Kaltdampfmaschine, wie bei jeder Dampfmaschine, Condensationsverluste auftreten mussten, die sich nicht berechnen liessen, sondern nur annähernd zu schätzen waren. Immerhin ergaben die Rechnungen Resultate, welche zu einem Versuch ermunterten, und ich beschloss daher bei dem regen wissenschaftlichen und Unterrichtsinteresse, welches die Versuche boten, dieselben in dem Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule vorzunehmen.

Ich hatte dabei in Aussicht genommen, die in dem Heft I der »Mittheilungen« beschriebene horizontale Verbunddampfmaschine zu den Versuchen zu benutzen.

Unter Zugrundelegung des bekannten Dampfverbrauchs dieser Maschine und der vorsichtigen Annahme, dass in der Kaltdampfmaschine 50% des eingefüllten Dampfes durch Condensation verloren gehen werde, ergab die Rechnung, dass durch die neue Kaltdampfmaschine 40% der indicirten Leistung der Wasserdampfmaschine ohne neuen Wärmeaufwand hinzugewonnen werden konnten.

Auf ein von mir in dieser Richtung hin erstattetes Gutachten erklärte sich die Berliner Maschinenbau-Actiengesellschaft für Eisengiesserei und Maschinenfabrikation (vorm. J. C. Freund & Co.) bereit, eine Versuchsmaschine nach meinen Entwürfen auszuführen.

Die Versuchsanlage ist jetzt schon seit mehr als 3 Monaten im Maschinenlaboratorium in Betrieb, und die Versuche können nicht nur als gelungen bezeichnet werden, sondern die Resultate haben die von mir oben rechnerisch und vorsichtig schätzungsweise festgestellten Werthe bedeutend übertreffen.

Um keine Aenderungen an der vorhandenen Wasserdampfmaschine vornehmen zu müssen und um möglichst freien Spielraum in dem Betrieb der Kaltdampfmaschine zu haben, wurde die Letztere für diese Versuche als gesonderte Maschine mit eigenem Triebwerk gebaut und neben der Wasserdampfmaschine aufgestellt. Der Arbeitsvorgang ist dabei folgender:

Die Wasserdampfmaschine arbeitet wie gewöhnlich als Condensationsmaschine. Der Abdampf aus dem Niederdruckcylinder wird in einen Oberflächencondensator geführt und dort niedergeschlagen, jedoch nicht wie gewöhnlich durch Kühlwasser, sondern durch eine leicht verdampfende Flüssigkeit.

Solche Flüssigkeiten kennt der moderne Maschinenbau mehrere, und sie werden tagtäglich in der Eismaschinentechnik benutzt. Es sind dies in erster Linie Ammoniak und schweflige Säure; dazu kann man eventuell noch Azeton und Benzol nehmen und noch andere.

Es ist ganz gleichgültig vom theoretischen Standpunkt, welche von diesen Flüssigkeiten für den Versuch benutzt wird. Bei der Auswahl derselben kommen nur die physikalischen Eigenschaften und die Temperatur des Siedepunktes in erster Linie in Betracht. Ich entschied mich für schweflige Säure, weil dieselbe in jahrelangem Eismaschinenbetrieb erprobt war und dem Ammoniak gegenüber den Vortheil hatte, dass sie in den Cylindern ohne Schmierung arbeiten kann. Es ist ja bekannt, dass die Schwefligsäurecompressoren niemals mit Schmiermitteln bedient werden. Ausserdem liegen die, den zur Verfügung stehenden Temperaturen entsprechenden Drücke der schwefligen Säure günstig.

Die obere Temperaturgrenze der Schweflig-Säuredämpfe in dem Oberflächencondensator der Wasserdampfmaschine entspricht dem Vacuum von 0,8 bis 0,75 Atm. mit 70 bis 65° C. Die untere Temperaturgrenze entspricht der Kühlwassertemperatur.

Die Drücke der schwefligen Säure für diese Temperaturen ergeben sich aus folgender Tabelle:

Vacuumspannung		Obere Temperaturgrenze		Untere Temperaturgrenze	
kg/qcm abs.	rund in %	Temperaturen	Druck abs.	Temperatur des Kühlwassers	Druck abs.
0,159	94	55°	9,7	10°	2,338
0,204	80	60°	11,05	15°	2,813
0,254	75	65°	12,53	20°	3,347
0,317	68	70°	14,80	25°	3,970

Der als Oberflächencondensator für die Wasserdampfmaschine benutzte Röhrenapparat ist im Wesentlichen wie jeder Oberflächencondensator gebaut. In diesem Falle wurde um die Röhren herum der zu condensirende Wasserdampf und durch die Röhren das Kühlmittel, d. i. in unserem Falle flüssige schweflige Säure, geleitet. Diese flüssige schweflige Säure entzieht dem niederzuschlagenden Wasserdampf Wärme und wird dadurch selbst erwärmt und verdampft, so dass die Einwirkung auf den Wasserdampf genau der des gewöhnlichen Kühlwassers entspricht. Bei der in diesem Condensator herrschenden Temperatur (etwa 65 bis 70°) beträgt daher der Druck der schwefligen Säure-Dämpfe 10,05 bis 13,8 kg/qcm Ueberdruck. Diese Dämpfe können in einen gewöhnlichen Arbeitscylinder geleitet werden und dort unter Expansion Arbeit verrichten.

Die Auspuffspannung der Dämpfe aus diesem Arbeitscylinder ist abhängig von der Kühlwassertemperatur, welche zur Verfügung steht. Dieselbe beträgt im Mittel im Laboratorium (das Wasser wird aus Tiefbrunnen beschafft) ca. 15°, entsprechend einer Spannung der schwefligen Säure von 1,8 kg/qcm Ueberdruck.

Diese aus dem Arbeitscylinder entlassene dampfförmige schweflige Säure wird in einem zweiten Oberflächencondensator durch Kühlwasser niedergeschlagen und die Flüssigkeit durch eine Speisepumpe in den Oberflächencondensator der Wasserdampfmaschine, der also zugleich Verdampfer für die Kaltdampfmaschine ist, zurückbefördert.

Auf diese Weise macht die schweflige Säure in dem Kaltdampfsystem einen Kreisprocess, und die Maschine ist eine geschlossene Wäsmekraftmaschine.

Als Verdampfer und Condensator wurden bei den Versuchen im Laboratorium, um die Kosten derselben zu verringern, die von Herrn Behrend bei seinen früheren Versuchen benutzten Apparate, die ungefähr die benöthigte Grösse hatten, wieder verwendet.

Die übrigen Theile der Versuchsanlage mit allen Einzelheiten der schwefligen Säuremaschine und der Rohrleitung etc. wurden nach meinen Entwürfen durch die Berliner Maschinenbau-Actiengesellschaft, vorm. Freund, in vorzüglicher Weise ausgeführt. Die Versuchsanlage geht aus Fig. 1 hervor. Links sieht man die Cylinder der Wasserdampfmaschine, die durch eine Pumpe belastet wird. Dahinter der Verdampfer, rechts die SO_2-Maschine und dahinter der SO_2-Condensator.

Die Versuchsanlage ist speciell für die Versuche durchgearbeitet. Die Einzelheiten der SO_2-Maschine sind daraufhin durchconstruirt, dass eine zuverlässige Abdichtung der Kolbenstange, der Spindeln etc. erzielt wird, theils um Verluste des in der Maschine thätigen Arbeitsmittels zu vermeiden, theils um den lästigen Geruch hintenan zu halten. Dies ist vollständig

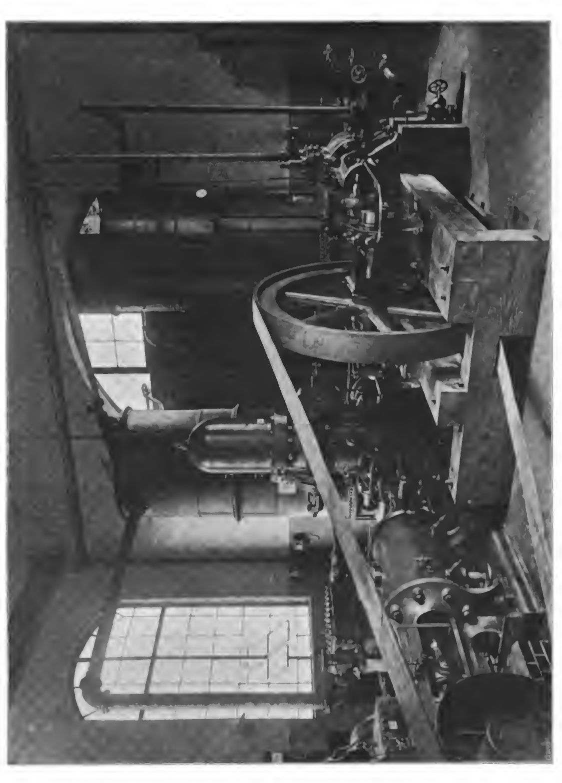


Fig. 1.

gelungen, und die Maschine hat tadellos entsprochen, es hat sich an derselben nicht die geringste Veranlassung zu Aenderungen herausgestellt. Trotzdem immerhin noch kleine Verbesserungen möglich sind, so kann der Betrieb der schwefligen Säure-Maschine doch vollständig geruchlos gemacht werden, so dass Schwierigkeiten in dieser Richtung nicht mehr zu erwarten sind.

Selbstverständlich wurden beim Entwurf, soweit überhaupt von Vorbildern die Rede sein konnte, die Erfahrungen, welche mit Schwefligsäure-Eismaschinen gemacht wurden, benutzt. Dieselben konnten jedoch nur in beschränktem Maasse herangezogen werden, da ja die SO_2 in den Eismaschinen nur mit ca. 2 kg/qcm Ueberdruck arbeitet, während hier bis 12 Atm. in Betracht kamen.

Da man bei dem Entwurf unmöglich wissen konnte, wie gross die Condensation der schwefligen Säuredämpfe in dem Kaltdampfcylinder sein würde, so habe ich die Cylinderabmessungen und die Einzelheiten der Kaltdampfmaschine so gewählt, dass die Tourenzahl dieser Maschine bis auf 125 gesteigert werden konnte. Man hatte dadurch die Möglichkeit, durch Verminderung der Tourenzahl sich nach Belieben an die eintretenden Verhältnisse anzuschliessen.

Da die Bauart des verwendeten alten Condensators sehr unvollkommen ist, so wurde bei den Versuchen nicht die volle Leistungsfähigkeit der Kaltdampfmaschine und der Wasserdampfmaschine ausgenutzt, sondern die Leistung derjenigen des Condensators möglichst angepasst, um normale Verhältnisse zu erzielen.

Versuchsergebnisse.

In Fig. 2 und 3 sind die bei einem Versuch genommenen Diagramme der Wasserdampfmaschine dargestellt, in Fig. 4 die entsprechenden Diagramme der Kaltdampfmaschine. Die Abmessungen der Wasserdampfmaschine (s. Mittheilungen I) betragen:

Hochdruckcylinder Durchm.	340 mm.
Niederdruckcylinder Durchm.	530 mm.
Kolben-Hub	500 mm.

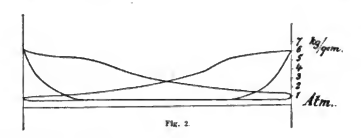


Fig. 2.

diejenigen des Kaltdampfcylinders

Cylinder Durchm.	200 mm.
Kolben-Hub	500 mm.

Die Tourenzahl bei dem den Diagrammen entsprechenden Versuch war bei der H_2O-Maschine 41,5 min. und bei der Kaltdampfmaschine 77 min.

Bei diesen Versuchen wurden, trotzdem immerhin noch einige Unvollkommenheiten in der Anlage vorhanden sind, durch die Kaltdampfmaschine 56% der indicirten Leistung der Wasserdampfmaschine mit demselben Wärmeaufwand, mit dem die Wasserdampfmaschine betrieben wird, hinzugewonnen.

Der Dampfverbrauch der Wasserdampfmaschine beträgt mit Condensation normal etwa 8,6 kg pro Ni und Stunde. Durch Hinzufügung der Kaltdampfmaschine wurde also mit dem-

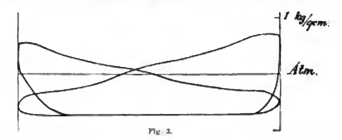


Fig. 3.

selben Dampfverbrauch die Leistung um 56% erhöht. Der Dampfverbrauch pro (in beiden Maschinen geleistete) indicirte Pferdestärke und Stunde ging dabei herunter auf 5,5 kg.

Es ist das ein sehr bemerkenswerthes Ergebniss, das, wie ich schon erwähnte, noch einiger Verbesserungen fähig ist, so z. B. waren die Druckverluste zwischen Eintrittsspannung im Diagramm und Spannung im Verdampfer erheblich, ebenso zwischen

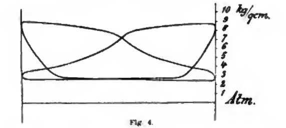


Fig. 4.

Austrittsspannung im Diagramm und der Spannung im Condensator, was auf die Unvollkommenheiten und engen Rohrquerschnitte der bereits vorhandenen alten Oberflächenapparate zurückzuführen ist.

Selbstverständlich ist die mit der Kaltdampfmaschine, Patent Behrend-Zimmermann, zu erzielende zusätzliche Leistung um so grösser, je grösser der Dampfverbrauch der Wasserdampfmaschine ist. Bei einer schlechten Wasserdampfmaschine mit hohem Dampfverbrauch wird durch Anschluss der Kaltdampfmaschine daher der Procentsatz der zu gewinnenden Arbeit grösser sein als bei einer guten Wasserdampfmaschine mit geringerem Dampfverbrauch.

Zahlreiche Versuche mit der Kaltdampfmaschine, welche seit Wochen vorgenommen wurden, ergaben, dass etwa pro 15 kg Wasserdampf, der durch die Wasserdampfmaschine hindurchgeht, in der Kaltdampfmaschine eine indicirte Pferdestärke geleistet werden kann.

Diese Versuchsresultate sind im Laboratorium mit einer verhältnissmässig sehr kleinen Maschine erzielt worden, und es ist ausser allem Zweifel, dass nach den jetzt vorliegenden Erfahrungen dieselben bei grösseren Maschinen noch günstiger ausfallen werden.

Bei dem in den letzten Wochen durchgeführten Betrieb der Maschine haben sich Schwierigkeiten irgend welcher Art nicht herausgestellt. Die Beförderung der flüssigen SO_2 aus dem Condensator nach dem Verdampfer gelang erst nach längeren Versuchen. Dieselbe geht jetzt anstandslos vor sich.

Es ist selbstverständlich, dass bei der Kaltdampfmaschine auf die Dichtung der Stopfbüchsen besonderer Werth gelegt werden muss, sowohl um Verluste an der Arbeit zu vermeiden, als auch namentlich um den Geruch hintenan zu halten. Diese Frage ist praktisch vollständig als gelöst zu betrachten.

Die Bedienung der Maschine ist ausserordentlich einfach, indem der Kaltdampf-Arbeitscylinder absolut keiner Wartung bedarf. Derselbe arbeitet vollständig ohne Schmierung, da es ja bekanntlich ein Hauptvortheil der schwefligen Säure ist, dass Schmierung dabei unnöthig ist; das haben die Versuche auch vollständig bestätigt.

Die Ergebnisse der Versuche und des Betriebes berechtigen vollständig zu dem Urtheil, das Behrend'sche System zur Verbesserung der Dampfmaschinen für practische Ausführungen in Aussicht zu nehmen.

Einen erschöpfenden Bericht über die Constructionseinzelheiten und die Versuche behalte ich mir vor.

Practische Anwendungen.

Ich gestatte mir, hieran einige Betrachtungen anzuschliessen, wie die technische Ausführung dieses neuen Systems bewerkstelligt werden kann.

Wie schon oben erwähnt, wird etwa pro 15 kg Wasserdampf, der arbeitsleistend durch eine Condensationsdampfmaschine hindurchgeht, eine indicirte Pferdestärke gewonnen. Stellt man sich daher eine grosse Kraftcentrale vor mit ca. 3000 PS. und nimmt man den Dampfverbrauch dieser Maschinen zu 7,5 kg pro indicirte Pferdestärke an, so wird durch Hinzufügung der Kaltdampfmaschine mit demselben Aufwand an Kohlen pro 7,5 kg Dampf $\frac{1}{2}$ PS., **das sind 1500 PS. insgesammt gewonnen.**

Setzt man selbst beste grosse Dampfmaschinen voraus, deren Dampfverbrauch heutzutage pro indicirte Pferdestunde 5 kg immer noch überschreitet, so würden doch noch 1000 PS. ohne Mehraufwand an Kohlen gewonnen werden. Bei Dampfmaschinen mit hohem Dampfverbrauch ist der Gewinn noch grösser.

In Berg- und Hüttendistricten gibt es eine ganze Menge von Dampfmaschinen, welche theils mit Auspuff, theils mit Condensation arbeiten, die mehr als 10 kg Dampf verbrauchen. In diesem Falle würden durch die Kaltdampfmaschine bei einer 3000pferd. Anlage **2000 PS. gewonnen werden.**

Was die Verbindung dieser Kaltdampfmaschine mit der Wasserdampfmaschine anbelangt, so lassen sich dabei zwei Lösungen denken:

Die erste Lösung besteht darin, dass die Kaltdampfmaschine als Centralcondensation an vorhandene Dampfmaschinen angeschlossen wird. Diese Lösung hat den grossen

Vortheil, dass an der vorhandenen Dampfmaschine absolut nichts geändert zu werden braucht, sondern, dass nach Aufstellung eines Verdampfers und Condensators mit Kaltdampfmaschine je nach dem Dampfverbrauch der Wasserdampfmaschine mit demselben Wärmeaufwand $^1/_3$ bis $^1/_2$ der vorhandenen Kraft hinzugewonnen werden kann.

Auf den Gruben in Westfalen und im Ruhrbezirk, wo man jetzt überall unter Benutzung von Rückkühlanlagen Centralcondensationen anlegt, würde der Arbeitsgewinn ganz hervorragend sein.

Die zweite Lösung besteht darin, Dampfmaschinen, combinirt mit dem Kaltdampfcylinder, einheitlich als Ganzes zu bauen. Nimmt man für eine solche Maschine von etwa 3000 indic. PS. einen Wasserdampfverbrauch von 5 kg an, so lässt sich heute schon mit Sicherheit voraussetzen, dass dieser Dampfverbrauch durch Hinzufügung des Kaltdampfcylinders auf 3,75 kg pro Ni und Stunde reducirt werden wird. Ich bemerke hierzu, dass dieser geringe Dampfverbrauch sich rechnerisch auf Grund der Versuche mit der vorhandenen kleinen, immerhin noch verbesserungsfähigen Maschine ergeben hat, und dass derselbe späterhin noch unterschritten werden dürfte.

Ein weiteres Feld zur Verwendung der Kaltdampfmaschinen Behrend-Zimmermann bietet sich in der Ausnutzung von warmen Abwässern und Heizgasen. Genügt doch schon eine Temperatur von 60—70° dieser Abproducte, um bei grossen Mengen derselben grosse Arbeitsleistungen kostenlos zu erzielen. Die Benutzung derselben Kaltdämpfe für Antriebsmaschinen, welche die Eismaschinen als Arbeitsflüssigkeit verwenden, legt den Gedanken nahe, Motor und Arbeitsmaschinen zu combiniren und beide mit dem gleichen Mittel zu betreiben. Daraus ergeben sich wesentliche Vereinfachungen der Eismaschinen. Constructionen in dieser Beziehung sind schon im Entwurf.

Aus diesen kurzen Mittheilungen dürfte hervorgehen, dass die Dampfmaschine durch das Behrend'sche System einen erheblichen Schritt vorwärts gethan hat, und ich kann nur die Männer bewundern, die trotz vieler Mäkeleien, Enttäuschungen und Schwierigkeiten beinahe 10 Jahre lang mit grossen Opfern ihre Sache verfolgt haben und ich freue mich, dass es doch noch gelungen ist, dieselbe in praktische Gestalt zu kleiden.

Versuche mit rasch laufenden Pumpen.

Zur Feststellung der Betriebsverhältnisse einer neuen Construction raschlaufender Pumpen wurde mir durch Herrn Geh. Reg.-Rath Professor Riedler zwecks Erprobung im Maschinenlaboratorium übergeben:

1. Im März 1898: eine Vorrichtung zur Untersuchung der Bewegung von Ventilen neuer Bauart;
2. im Juni 1898: eine dreicylindrige raschlaufende Hochdruckpumpe für das Herzoglich Anhaltische Salzwerk Leopoldshall für elektromotorischen Antrieb;
3. im Februar 1899: eine grosse eincylindrige raschlaufende Pumpe für die Mansfelder Gewerkschaft für unmittelbaren Antrieb durch eine Dampfmaschine.

Durch die Versuche sollte insbesondere ermittelt werden:

Das Verhalten der Wassermassen, der Pumpenventile und des Triebwerks bei normaler und gesteigerter Geschwindigkeit und bei verschiedenen Saughöhen.

Das Verhalten der Kolben- und Ventildichtungen sowie der Betriebsausrüstungen.

Zu allen einzelnen Punkten war die Ursache etwaiger Mängel festzustellen.

Als normale Betriebsgeschwindigkeiten waren angenommen: für die Versuchsvorrichtung 150 Umdrehungen minutlich ohne nennenswerthe Steigerungsfähigkeit, für die Hochdruckpumpe Leopoldshall: 200 Umdrehungen minutlich mit Steigerungsfähigkeit bis auf etwa 300 Umdrehungen minutlich und mehr, für die Druckpumpe Mansfeld: 125 Umdrehungen minutlich mit Steigerungsfähigkeit bis auf etwa 250 Umdrehungen minutlich.

Es war vereinbart, die Geschwindigkeit ohne Rücksicht auf etwaige Brüche oder Beschädigungen der Versuchspumpen und ihrer Theile auf das höchste, überhaupt erreichbare Maass zu steigern, soweit die Betriebsvorrichtungen des Laboratoriums und die Betriebssicherheit in demselben es gestatten.

1. Erprobung der Versuchsvorrichtung.

Die Versuchsvorrichtung bestand aus einem horizontalen Tauchkolben mit Stopfbüchse, hinter der concentrisch um den Plunger ein ringförmiges Saugventil ausgeführt war, das durch den Kolben in seiner Todtlage am Ende des Saughubs durch Zwischenschaltung einer Stahl. feder geschlossen wurde. Als Druckventil waren gewöhnliche federbelastete Ringe ausgeführt. Ventile und Tauchkolben waren in einem aus Holz gezimmerten und versteiften Pumpenkasten eingebaut. Der ganze Apparat wurde, da das Ergebniss eines Vorversuches für die Construction auszuführender Pumpen rasch vorliegen sollte, in einer Woche hergestellt und roh zusammengefügt. Der Zweck des Vorversuches war nur der, die Bewegung der Wasser- und Ventilmassen bei minutlich 150 Umdrehungen zu studiren. Die Ventilquerschnitte und der Hub waren den Betriebsverhältnissen der unter 3. erwähnten Mansfelder Pumpe angepasst.

Der Versuchskolben mit 350 mm Hub konnte an die verlängerte Kolbenstange einer vorhandenen kleinen Dampfmaschine unmittelbar gekuppelt werden. Diese Dampfmaschine konnte zur Noth bis auf 200 Umdrehungen minutlich gesteigert werden.

Im Pumpenkasten waren Schaulöcher und Glühlampen angebracht, um die Wasser- und Ventilbewegung unmittelbar beobachten zu können, was aber nur in beschränktem Maasse gelang, da das Wasser nach kurzer Betriebszeit in Folge der raschen Bewegung und durch nicht zu vermeidende Verunreinigungen bei der unvollkommenen Ausführung undurchsichtig wurde.

Der Vorversuch erfüllte aber seinen Zweck: es konnte festgestellt werden, dass die Bewegung der bei der hohen Tourenzahl abwechselnd stark zu beschleunigenden Massen des Wassers sowie der Ventile in der berechneten Weise erfolgte und dass der Zwangsschluss des Saugventils vom Kolben anstandslos bewirkt wurde. Die Beobachtungen konnten bis auf minutlich 200 Doppelhübe ausgedehnt werden. Ueberschreitung dieser Geschwindigkeit war wegen der schwachen Antriebsdampfmaschine und wegen des mangelhaften Baues des Versuchskastens nicht möglich.

2. Erprobung der Versuchspumpe Leopoldshall.

Die zu erprobende dreikurbelige Hochdruckpumpe war die erste der drei elektrisch betriebenen Wasserhaltungspumpen, die für Schacht III des Herzoglich Anhaltischen Salzwerks in Leopoldshall bestimmt waren. Diese erste Pumpe nach dem Entwurf der Herren Prof. Riedler und Stumpf wurde von der Stettiner Maschinenbau-Actiengesellschaft Vulcan in kürzester Zeit gebaut, so dass sie 2 Monate für Versuche im Laboratorium zur Verfügung stand, um die Versuchsergebnisse für die zwei weiteren noch in Ausführung begriffenen Pumpen verwerthen zu können.

Die Bauart der Pumpe ist aus Fig. 5 und 6 ersichtlich. Der Elektromotor treibt die mit seiner Welle starr gekuppelte dreifach gekröpfte Pumpenwelle (Kurbelversetzung 120°). Das Triebwerk ist in einen geschlossenen Oeltrog eingebaut.

Der Kreuzkopf läuft in einer ausgebohrten Rundführung und wirkt in dieser beim Druckhub als Luftpufferkolben derart, dass gegen Ende des Druckhubs die Luft im Puffercylinder verdichtet wird und die bewegten Gestängemassen verzögert werden, während beim darauf-

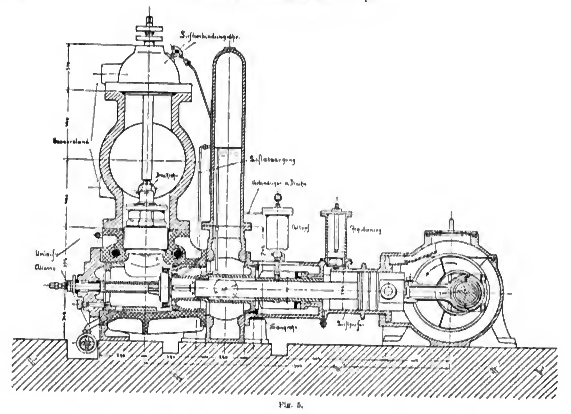


Fig. 5.

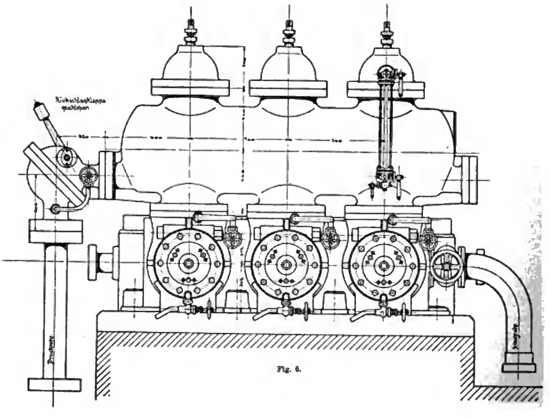


Fig. 6.

folgenden Saughub die Ausdehnung der Luft aus dem schädlichen Raum die Beschleunigung der Gestängemassen übernimmt. Dadurch wird zugleich einseitiger Druck im ganzen Triebwerk hervorgerufen. Die Wirkung des Luftpuffers, die Verdichtungsspannung, konnte durch Veränderung des schädlichen Raumes durch einen mittels Handrads verschiebbaren Kolben in einem aufrecht stehenden Luftcylinder nach Belieben geregelt werden; bei offenem Luftcylinder konnte auch ohne Compressionsdruck auf den Pumpenkolben gearbeitet werden.

Der Saugwindkessel befindet sich zwischen Pumpenkörper und Geradführung und ist so angebracht, dass der Saugwasserspiegel höher liegt als das Saugventil, so dass beim Beginn jedes Saughubs das bereits hochgesaugte Wasser unter statischer Druckhöhe in die Pumpe einströmen kann.

Das Saugventil ist concentrisch um den Pumpenkolben herumgelegt, daher senkrecht hängend. In der Mitte befindet sich der Pumpenkolben und seine Stopfbüchsendichtung. Der Pumpenkolben trägt an seinem Ende einen Steuerkopf mit Gummifeder, welche vor Ende jedes Saughubs zunächst das geöffnete Ventil berührt, es bei einer Zusammendrückung der Feder entsprechend den Widerständen, mitnimmt und seinem Sitz nähert, bezw. es auf den Ventilsitz drückt. Die Steuerung konnte durch eine Stellstange beliebig ausser Thätigkeit gesetzt oder auf beliebige Zusammendrückung der Steuerungsfeder eingestellt werden.

Die Druckventile der Pumpen waren federbelastete Gruppenventile, die durch Regulirung der Belastung für rechtzeitigen Schluss bei hohen Geschwindigkeiten eingestellt werden konnten.

Ueber den drei Pumpenkörpern war ein wagrecht liegender gemeinsamer Windkessel aufgebaut, von dem das Druckrohr abzweigte.

Die normale Geschwindigkeit, mit welcher die Pumpe im Wasserhaltungsbetriebe elektrisch zu betreiben ist, soll 200 Umdrehungen minutlich betragen. Durch die vorhandenen Laboratoriumseinrichtungen: einen 100pferdigen Gleichstrommotor mit Widerständen in Verbindung mit der grossen Vierfach-Verbunddampfdynamo, die beliebig zwischen 50 und 200 Umdrehungen minutlich eingestellt werden kann und deren Leistung über das erforderliche Maass hinaus steigerbar war, konnten für die Versuche sowohl grosse Geschwindigkeits- wie Kraftänderungen erzielt werden.

Der praktische Betriebsdruck der Pumpe soll 35 Atm. betragen. Dieser konnte durch die Laboratoriumseinrichtungen nicht hergestellt werden. Der Windkessel über den Pumpen war für einen nur durch Drosselung hergestellten Widerstand von 35 Atm. für den Versuchszweck zu klein, und der grosse Laboratoriumswindkessel liess nur 20 Atm. zu. Es wurden deshalb die Versuche auf 20 Atm. Betriebsdruck beschränkt.

Fig. 7 zeigt den Aufbau der Pumpe im Laboratorium auf einem kräftigen Holzrahmen. Die Aufstellung erfolgte wie für den betriebsfertigen Zustand in der Grube und hat sich auch beim gesteigerten Betrieb als vollständig ausreichend erwiesen. Die Verbindung mit dem vorhandenen Laboratoriumswindkessel wurde durch ein Druckrohr hergestellt und hinter dem Windkessel der in Heft I der »Mittheilungen aus dem Maschinenlaboratorium« beschriebene mehrstufig wirkende Drosselapparat eingeschaltet, durch den der Betriebsdruck erzeugt werden konnte.

Im praktischen Betriebe soll das Wasser der Pumpe unter 2 m Ueberdruck zufliessen. Es wurde deshalb, um auch während der Versuche diesen Betriebszustand herzustellen, neben der Pumpe ein Behälter von mehreren Cubikmetern Inhalt aufgestellt, dessen Sohle 2 m höher lag als die Versuchspumpe, und diesem Behälter das Wasser nach Durchgang durch den Drosselapparat wieder zugeführt, so dass es beim Betriebe der Pumpe einen Kreislauf machte. Um zu starke Erwärmung des Wassers durch die Drosselung bei längerem Betriebe zu verhüten, wurde von Zeit zu Zeit aus der Wasserleitung kaltes Wasser zugesetzt.

Ausserdem wurde eine unmittelbare Saugleitung von der Versuchspumpe zum Sammelbrunnen des Laboratoriums hergestellt, so dass die Pumpe auch mit beliebiger Saughöhe erprobt werden konnte.



Fig. 7.

Zur Füllung der Windkessel wurde die Westinghouse-Compressionspumpe des Laboratoriums benutzt. Bei der Ingangsetzung der Pumpen diente zum Luftabsaugen aus dem Saugrohr und den Pumpenräumen ein Dampfejector.

Die Versuchspumpe wurde Anfang Juli in Betrieb gesetzt, nach einigen Tagen Leerlauf mit Belastung betrieben und die verschiedenen Einstellungen der Saugventilsteuerung erprobt.

Der Gang der Pumpe, bei niedriger und bei gesteigerter Geschwindigkeit bis 200 Umdrehungen minutlich, war ein tadelloser. Mehrere Nebentheile: Ueberströmungsventil, Schmiervorrichtung und Dichtungen stellten sich als abänderungsbedürftig heraus. Unbequem war es, dass bei der ursprünglichen Anordnung der Stopfbüchse, Fig. 5, die Plunger während des Ganges nicht beobachtet werden konnten. Diese Stopfbüchsenanordnung hat zwar den Vortheil, dass nur eine bewegliche (Reibung erzeugende) Dichtung vorhanden ist, während die zweite eine unbewegliche Dichtung ist, aber es schien doch zweckmässig, insbesondere für die Betriebszwecke, die Plungerflächen sichtbar zu haben. Es wurde deshalb die gemeinsam für Pumpe und Luftpuffer dienende Stopfbüchse durch Verkürzung der Brille und Einschaltung eines neuen Stopfbüchseneinsatzes für den Luftpuffer abgeändert. Veranlassung zu dieser Abände-

rung war auch die Befürchtung, dass bei Undichtheiten der Pumpenstopfbüchse Wasser in den Luftpuffercylinder gelangen könnte.

Die Schmierung der Stopfbüchse wurde so angeordnet, dass das Fett in einen in der Packung befindlichen Metallring eingepresst wird. Die ursprünglich versuchte selbstthätige Schmierung durch Luftdruck aus dem Windkessel hat sich nicht bewährt, der Luftüberdruck ist nicht ausreichend, das Fett zuverlässig in den Dichtungsraum zu pressen.

Diese Aenderungen wurden ausgeführt, und die Versuche am 11. August wieder aufgenommen, und zwar zunächst bei einem Ueberdruck des zufliessenden Wassers von 2 m, dann mit zunehmender Saughöhe bis 6 m, und bei Geschwindigkeiten von zunächst 100 bis 200 Umdrehungen minutlich, dann gesteigert bis auf 350 Umdrehungen minutlich, durchgeführt. Ueber 350 Umdrehungen minutlich konnte nicht hinausgegangen werden, weil die elektrischen Betriebsvorrichtungen nicht ausreichten.

Bei den Versuchen waren in einer Pumpe Metallventile, in der zweiten Ventile mit Lederstulpdichtung, in der dritten Ventile mit Holzdichtung eingebaut.

Nach Erprobung aller für die Beurtheilung der Pumpenwirkung maassgebenden Verhältnisse wurde während 2 Wochen ein Dauerbetrieb Tag und Nacht hindurch mit 180—200 Umdrehungen minutlich und 12 Atm. Wasserdruck durchgeführt, um die Haltbarkeit der Dichtungen u. s. w. beurtheilen zu können, und zwar eine Woche mit 2 m negativer und eine Woche mit 2,5 m positiver Saughöhe. Auch hierbei hat die Pumpe tadellos entsprochen. Die Durchführung dieses Dauerbetriebes ergab für das Laboratorium sowohl wie für die Aufrechterhaltung der Betriebsverhältnisse genau wie in einem praktischen Betriebe keine Schwierigkeiten. —

In den folgenden Versuchsergebnissen sind Betriebsgeschwindigkeiten von ungefähr 200 Umdrehungen minutlich zu verstehen, wo nicht ausdrücklich andere Geschwindigkeiten angegeben sind.

Zulässige Saughöhe.

Der Gang der Pumpe war bei 2 m Ueberdruck des zufliessenden Wassers ein ebenso guter wie beim Ansaugen des Wassers aus dem Brunnen bis zur Saughöhe von 3,5 m. Darüber hinaus war die Füllung der Pumpe nicht mehr ganz vollständig, weil die Saugrohrquerschnitte und der Saugwindkessel sowie die Wasserwege bis zur Pumpe für den thatsächlichen Betrieb mit 2 m Ueberdruck bemessen waren. Bei 200 Umdrehungen minutlich und 3,5 m Saughöhe wurden 97% volumetrischer Wirkungsgrad festgestellt.

Der Betrieb mit 300 Umdrehungen minutlich und 2 m Saughöhe ergab noch einen volumetrischen Wirkungsgrad von 96%.

Bei 200 Umdrehungen minutlich und einer Saughöhe bis 4,5 m wurde noch ganz ruhiger Gang der Pumpe erzielt. Aber die Pumpe füllte sich nach Ausweis der Diagramme unvollständig mit Wasser; die Hartgummi- und Holzventile liefen auch bei nicht ganz gefüllter Pumpe geräuschlos, die Metallventile hingegen härter.

Bei mehr als 4,5 m Saughöhe und 200 Umdrehungen minutlich trat Schlagen, namentlich der Metallventile, ein.

Bei minutlich 300 Umdrehungen wurde eine Saughöhe von 4 m bei zwar ruhigem Gang, aber bei nicht mehr ganz gefüllter Pumpe erreicht. Auch bei 6 m Saughöhe und minutlich 200 Umdrehungen war die Pumpe zwar noch betriebsfähig, aber es musste dabei die Luft aus dem Saugwindkessel beständig durch einen Dampfejector abgesaugt werden, um den Wasserstand in den Saugwindkesseln erhalten zu können. Bei richtiger Bemessung der Saugröhren, Saugwindkessel und Wasserwege bis hinter das Saugventil dürfte es aber möglich sein, auch solche Saughöhen bis 6 m bei hohen Geschwindigkeiten von 300 oder mehr Umdrehungen in der Minute anstandslos zu überwinden.

Ventile.

Alle Saugventile (Metall-, Leder- und Holzdichtung) waren während der Versuche und nach dem 14tägigen Dauerbetriebe in gutem Zustande.

Am ruhigsten arbeitete das Holz- und das Hartgummiventil. Das Metallventil ging geräuschvoller.

Wurde die Saugventilsteuerung derart eingestellt, dass das Ventil im Hubwechsel des Pumpenkolbens eben geschlossen oder dass die Feder des Schliesskopfes 1 bis 2 mm vorgespannt war, dann liefen die Pumpen am ruhigsten.

Unrichtige Einstellung der Steuerung, derart, dass im Hubwechsel der Steuerkopf mehrere mm Spiel besitzt, hat zu spätes Schliessen des Ventils und eine Verzögerung des Beginns der Druckperiode zur Folge. Aber selbst bei solcher ungenauer Einstellung der Steuerung und verspätetem Ventilschluss arbeitete die Pumpe annähernd so gut, als wenn die Steuerung richtig eingestellt und die Pumpendiagramme normal waren. Diese Erscheinung ist durchgängig beobachtet worden, auch wenn die Pumpe sich aus anderen Gründen nicht vollständig gefüllt hatte. Ungenauigkeit der Steuerung bewirkte nur ein grösseres Geräusch des Ventilspiels, ohne sonst nachtheiligen Einfluss zu zeigen.

Auffallend ist, dass die Pumpen auch gut arbeiten, wenn sie sich nicht vollständig füllen. Die Beobachtungen können nach meiner Meinung daher auf grosse Pumpen dieser Bauart nicht ohne Weiteres übertragen werden.

Auch bei den Druckventilen hat sich Metall-, Leder- oder Holzdichtung gleichmässig gut bewährt.

Versuchsweise wurden an Stelle der ursprünglichen Belastungsfedern aus gewöhnlichem schlechtem Gummi weiche aus reinem Paragummi eingesetzt, wodurch sich aber kein Unterschied im Gang ergab. Der Ueberdruck beim Oeffnen der Druckventile konnte nicht genau ermittelt werden. Den Diagrammen und den gemachten Beobachtungen nach ist er nicht beträchtlich.

Dichtungen.

Bei den Vorversuchen liefen 2 Plunger warm, weil die Stopfbüchsen zu stark angezogen waren, so dass sich auch die Leergangsarbeit bedeutend erhöhte. Die Packung wurde herausgenommen und ganz lose wieder eingesetzt und allmählich und schwach angezogen. Seitdem sind Schwierigkeiten durch die Stopfbüchsen nicht mehr entstanden. Es ist daher nöthig, die Stopfbüchsen nicht mehr anzuziehen, als durchaus zur Dichtung erforderlich ist, und lieber einige Tropfen Wasser durch die Packung austreten zu lassen.

Die Pumpenkörper und Ventile und auch die Tauchkolben waren aus Bronze ausgeführt, weil die Pumpen Salzsoole zu heben bestimmt sind. Irgend welche Abnutzung der Metallkolben durch die Stopfbüchsenpackung nach dem Dauerbetriebe konnte nicht beobachtet werden.

Die ursprünglich vorgesehene Schmierung der Stopfbüchsen durch Fett, das durch den Luftdruck aus dem Windkessel unter Druck gesetzt wird, hat sich nicht bewährt. Die später hinzugefügte, mit Handrad und Schraubenspindel zu bedienende Schmierpresse hat hingegen vollständig entsprochen. Einmaliges Anziehen des Handrades reichte durchschnittlich für 5 bis 6 Betriebsstunden aus.

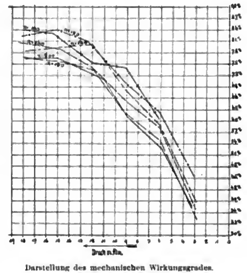
Der volumtrische Wirkungsgrad

der Pumpe wurde, wie erwähnt, bei minutlich 200 Umdrehungen durch unmittelbare Messung zu 97 % ermittelt.

Beim Antrieb mit 300 Umdrehungen minutlich wurde zwar die Pumpe nach Ausweis der Pumpendiagramme nicht mehr ganz gefüllt, jedoch war der Wirkungsgrad bei allen Messungen nicht schlechter als 96 %. Die früheren Angaben über unvollständige Füllung der Pumpen beziehen sich auf solche mässige Verluste. Nur bei Saughöhen über 4 m und Geschwindigkeiten über 300 in der Minute war die Pumpenfüllung wesentlich geringer

Mechanischer Wirkungsgrad.

Beim Leerlauf und 200 Umdrehungen minutlich betrug die in den Elektromotor eingeleitete elektrische Arbeit 15 PS. Bei belasteter Pumpe ergab sich der Wirkungsgrad, aus der elektrischen Leistung und der Pumpenarbeit in thatsächlich gehobenem Wasser berechnet, in dem Maasse besser, als die Druckhöhe zunahm. Bei sehr grosser Geschwindigkeit nahm der Wirkungsgrad wieder ab. Die Belastung konnte nur bis zu 20 Atm. Wasserdruck getrieben werden. Bei diesem Wasserdruck und 200 Umdrehungen minutlich war der gemessene Wirkungsgrad 76 %. Jedoch darf diese Beobachtung nicht verallgemeinert werden. Es ist vielmehr anzunehmen, dass wegen des augenblicklichen Zustandes der Stopfbüchsenpackungen und wegen der geringeren Leistung der Wirkungsgrad während der Versuche geringer war als er im praktischen Betriebe sein wird, wo sich bei voller Belastung der Pumpe (35 Atm. statt 20 Atm., das ist fast das Doppelte des Widerstandes während der Versuche) ein wesentlich günstigerer Wirkungsgrad herausstellen dürfte. Der Wirkungsgrad, richtiges Anziehen der Stopfbüchsen vorausgesetzt, kann auf 80 % kommen, diesen Werth vielleicht auch überschreiten.



Darstellung des mechanischen Wirkungsgrades.

Fig. 8.

Die einzelnen Versuchsresultate ergeben sich aus folgender Tabelle, deren Werthe in Fig. 8 graphisch dargestellt sind.

Umdrehungen Min.	Elektromotor					Pumpe		
	Volt	Ampère	eingeleitete PS.	elektr. Wirkgs.-grad %	abgegebene PS Motor	Saugwiderstand	PS Pumpe	mechan. Wirkgs.-grad %
200	97	174	22,9	88	20,1	0,13	7,55	37,5
	120,5	183	30,0	88	26,4	0,25	13,9	52,7
	130	220	38,9	88	34,4	0,33	21,0	61,0
	128,6	266	46,4	88	41,0	0,24	29,2	71,3
	140	283	53,8	88	47,5	0,21	36,4	76,6
	146	326	64,6	88	56,9	0,22	43,5	76,5
180	114	129	20,0	88	17,4	0,13	5,9	34,2
	103	192	26,9	88	23,7	0,25	13,0	55,0
	120	216	35,2	88	31,1	0,33	19,4	62,5
	110	265	39,6	88	34,9	0,24	25,7	73,5
	129	274	48,0	88	42,3	0,21	32,0	75,6
	126,5	345	59,4	88	52,4	0,22	40,0	76,6
160	95	131	16,9	88	14,9	0,13	5,55	37,3
	91,5	183	22,8	88	20,1	0,25	14,7	58,3
	104	209	29,5	88	26,1	0,33	17,1	65,5
	101	257	35,3	88	31,1	0,24	23,1	74,2
	114	266	41,2	88	36,4	0,21	28,7	79,0
	110	337	50,3	88	44,5	0,22	35,9	80,6
140	74	134	13,5	88	11,9	0,13	4,62	38,9
	80	178	19,3	88	17,1	0,25	10,1	59
	86	217	25,3	88	22,3	0,33	15,2	68,2
	94	238	30,4	88	26,8	0,24	21,5	80,2
	102	266	36,9	88	32,5	0,21	25,8	79,5
	101,3	322	44,5	88	39,0	0,22	30,6	78,5
120	58	140	11,0	86	9,5	0,13	4,4	45,7
	63,5	187	16,1	86	13,9	0,25	8,65	62,3
	76	208	21,4	86	18,5	0,33	13,0	70,3
	74	259	26,1	86	22,4	0,24	18,1	81,0
	80	281	30,6	86	26,2	0,21	22,0	84,0
	81	340	37,4	86	32,2	0,22	26,2	82,5
100	—	—	—	—	—	—	—	—
	52,5	194	13,8	86	11,9	0,25	7,2	60,4
	52,5	239	17,1	86	14,7	0,2	10,9	74,1
	68,0	243	22,5	86	19,3	0,2	14,5	75,1
	65	296	26,2	86	22,5	0,21	18,7	83,0
	68	332	30,6	86	26,4	0,22	22,1	84,0

Der volumetrische Wirkungsgrad bei allen diesen Versuchen war annähernd = 97 %.

Luftpuffer.

Die Wirkung des Luftpuffers: die Luftverdichtung während des Druckhubes jedes Pumpenkolbens zum Zweck der Massenverzögerung und Wiederausdehnung der Luft beim nächsten Saughube, war eine vollständig entsprechende. Die Erwärmung durch die Luftverdichtung war geringfügig; die Puffercylinder waren im Dauerbetrieb handwarm.

Bei der Erprobung der Pumpe mit ausgeschaltetem Luftpuffer (offenem Cylinderdeckel und herausgenommenem Regulirkolben) ergab sich der Gang der Pumpe jedoch ebenso ruhig als mit eingeschaltetem Luftcylinder. Ein Arbeitsverlust durch den Luftpufferbetrieb war bei der geringen Compressionsspannung nicht nachzuweisen. Die am Luftcylinder mit dem gewöhnlichen Indicator abgenommenen Diagramme zeigen keine Arbeitsfläche. Compressions- und Ausdehnungslinie fallen zusammen.

1. Betrieb mit Luftpuffercylinder.

Umdrehungen min.	Elektromotor				Pumpe		
	Volt × Amp	Watt 736	Elektr. Wirkgs.-grad %	Abgegebene PS.	Gesammtförderhöhe m	PS. Pumpe	mechan. Wirkgs.-grad %
120	87 · 354	41,8	86	36,0	181,8	27,6	76,7
120	86 · 260	30,4	86	26,1	182,8	18,6	71,1
2. Betrieb ohne Luftpuffercylinder.							
120	90 · 343	40,8	86	35,2	180,8	27,5	78,2
120	76 · 290	30,0	86	25,8	120,8	18,4	71,3

Windkesselvorrichtung.

Es waren Ausrüstungen vorhanden, um Luft nach Bedarf in den Saugwindkessel nachzufüllen oder daraus abzusaugen und nach Bedarf Druckluft in den Druckwindkessel nachzufüllen oder daraus abzulassen.

Die einfachen Schnüffelventile für die Absaugung der Luft aus den Saugwindkesseln functioniren gut. Der Wasserstand in den letzteren konnte im Betriebe bei nicht zu grosser Saughöhe leicht in der gewünschten Höhe erhalten werden. Die Füllung des Druckwindkessels durch die Schnüffelventile war hingegen unmöglich, da Luft und Wasser im Pumpenraum bei den hohen Betriebsgeschwindigkeiten derart durcheinander gemengt wurden, dass die Luft absorbirt und aus dem Windkessel durch das Wasser mit fortgenommen wurde. Betrieb ganz ohne Luft im Druckwindkessel wurde wiederholt durchgeführt, und es ergaben sich dabei wohl in Folge der unter 120° versetzten drei Kurbeln keine nennenswerthen Druckschwankungen.

Das Anlassen der Pumpen ergab keine Schwierigkeiten, auch wenn es rasch erfolgte.

Das Füllen der Pumpenkörper und zum Theil des Druckwindkessels erfolgte durch Oeffnen der Umlaufventile vom Saugkasten aus, bei Betrieb mit Saughöhe durch Absaugen der Luft aus den Pumpen vermittelst des Ejectors.

Das Triebwerk der Pumpe functionirt gut und gibt zu keinen Bemerkungen Anlass.

Zusammenfassung.

Das Untersuchungsergebniss kann dahin zusammengefasst werden, dass die Pumpe bis zu 300 Umdrehungen minutlich und mit Saughöhen bis 3,5 m tadellos betrieben werden

konnte, dass aber bei richtiger Bemessung der Wasserwege Geschwindigkeiten bis 350 minutlichen Umdrehungen und Saughöhen bis etwa 5 m erreicht werden können, und dass die neue Pumpenkonstruktion in allen Theilen diesen ungewöhnlich hohen Betriebsgeschwindigkeiten auch im Dauerbetrieb vollständig entsprechen kann.

3. Erprobung der grossen Wasserhaltungspumpe Mansfeld.

Die Pumpe wurde wegen des durch den Neubau verursachten Raummangels im Laboratorium auf einem Holzrost aufgebaut. Die Fundirung war mangelhaft, und es konnte starkes Schwingen der ganzen grossen Pumpe bei raschem Gang nicht vermieden werden. Doch ergab sich daraus keine nennenswerthe Schwierigkeit. Die Ansicht der Pumpe, die Aufstellung derselben im Laboratorium und die Antriebsmaschine ergeben sich aus den Fig. 9 und 10.

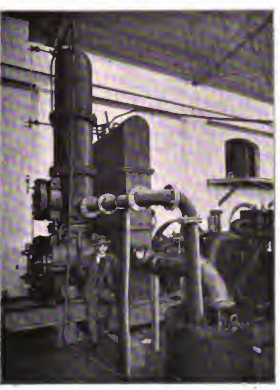


Fig. 9.

Der Antrieb der Pumpe erfolgte, weil die grossen Dampfmaschinen des Laboratoriums nicht verfügbar waren, durch eine kleine stehende Verbundmaschine, die mit 9 bis 10 Atm. Einlass-Dampfdruck und mit einer Umlaufgeschwindigkeit bis 200 Umdrehungen minutlich betrieben werden konnte und mit der Welle der Pumpe unmittelbar gekuppelt wurde. Auf der Pumpenwelle war ein kleines Schwungrad angebracht.

Da diese Dampfmaschine für den Antrieb der grossen Pumpe zu schwach war, wurde auf der Pumpenwelle noch eine Riemenscheibe angebracht, so dass die Pumpe durch Riemenübersetzung von einem Elektromotor allein oder zugleich von der Dampfmaschine angetriebenwerden konnte. Auf diese Weise wurden die Versuche durchgeführt, welche grösseren Kraftaufwand verursachten.

Für die Versuche wurdo ein Behälter von etwa 1 cbm Inhalt aufgestellt, in den die Druckleitung das Wasser ausgoss und aus dem die Saugleitung wieder ansaugte, so dass die Drosselung im Saugrohr zur Veränderung der Saughöhe unabhängig von der Druckspannung nach Bedarf hergestellt werden konnte. Das Anlassen der Pumpe und die Regulierung des Wasserstandes im Saugwindkessel erfolgt durch einen Dampfejector.

Die Versuche mit dieser grossen Pumpe konnten, da die Betriebskraft beschränkt war, nur mit geringem Wasserdruck durchgeführt werden. Zweck der Versuche war: die Feststellung der Saugwirkung bei verschiedenen Saughöhen und insbesondere des Verhaltens der Pumpenventile.

Die Saugventile waren ähnlich den der Leopoldshaller Pumpen; die Druckventile hingegen concentrisch angeordnete, sehr leichte Metallringventile, welche durch Gummiringe, als Federn und zugleich als Stulpabdichtungen dienend, überdeckt waren.

Insbesondere waren die Wirkung der Ventilsteuerung sowie verschiedene Ventilformen und Dichtungen: Ringventile aus Hartgummi, Ventile mit Holzdichtung und mit Lederstulpen und Metallventile, zu erproben.

Bei den ersten Versuchsreihen wurde mit 2 m Saugwiderstand gearbeitet und Antriebsgeschwindigkeiten bis 230 Umdrehungen minutlich erreicht. Mehr konnte durch die Antriebsmotoren nicht erzielt werden. Jedoch war bei allen Versuchen eine gewisse Unbeständigkeit, ein Wechseln des Ganges sowohl in der äusseren Erscheinung wie in den Diagrammen

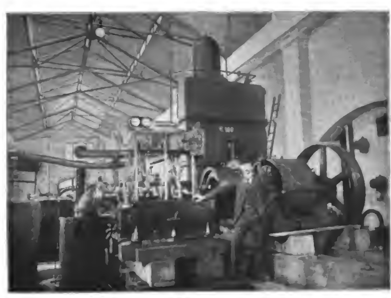


Fig. 10.

bemerkbar. Zeitweilig lief die Pumpe auch bei den höchsten Geschwindigkeiten tadellos, zeitweilig zeigte sich plötzliches Wechseln der Geschwindigkeit.

Die Ursache dieser Unregelmässigkeiten konnte nicht in der Pumpe und ihren Ventilen, sondern musste in der für die grosse Pumpe unzureichenden Wasserbeschaffung gesucht werden. In dem kleinen Zwischenbehälter entstanden bei raschem Gang der Pumpe so starke Wasserwirbel, dass die aus dem Druckwindkessel mitgerissene Luft sich nicht nur nicht ausscheiden konnte, sondern sogar neue Luft aus dem Saugbehälter mitgerissen wurde.

Es wurde deshalb ein grosser Zwischenbehälter von ca. 16 cbm Inhalt eingebaut, sodass das vom Druckrohr ausgiessende Wasser den grössten Theil der Luft ausscheiden konnte Damit waren alle Schwierigkeiten beseitigt, der Pumpengang wurde regelmässig, die Pumpe war immer voll gefüllt, und die Diagramme wurden gleichmässig.

Bei diesem befriedigenden Betriebszustande wurde ermittelt: das Verhalten der verschiedenen Ventilformen, die Einstelluug ihrer Steuerung und der volumetrische Wirkungsgrad.

Bei Erprobung der Steuerung stellte es sich heraus, dass der ruhigste Gang erzielt wurde, nicht wenn der Steuerkopf das Ventil im Kolbenhubwechsel oder schon vorher völlig schloss und die Gummifeder auf dem Steuerkopf entsprechende Vorspannung besass, sondern wenn die Ventile dem Sitz nur genähert und ein geringer nicht gesteuerter freier Ventilhub gelassen wurde.

Bei 3 mm ungesteuertem Spielraum und gleichzeitiger Drosselung in der Saugleitung wurde der volumetrische Wirkungsgrad durch unmittelbare Messung des geförderten Wassers in zwei grossen Behältern bestimmt. Das Ergebniss zeigt folgende Zusammenstellung:

Nr. des Versuchs	Mittlere Umdrehungszahl	Höchste Umdrehungszahl	Saughöhe Meter	Volumetrischer Wirkungsgrad %
1	120	132	2,6	96,0
2	136	144	3,8	95,8
3	140	144	5,9	95,5
4	140	160	(7,0)	(78,8)

Bei den Versuchen 1—3 war der Gang der Pumpe vollständig ruhig. Bei Versuch 4 trat starkes Schlagen der Ventile ein. Die Saughöhe war zu gross, die Pumpe konnte nicht mehr vollgefüllt werden.

Eine weitere Versuchsreihe ergab Aufschluss über die Saughöhe und den Lieferungsgrad bei Geschwindigkeiten von minutlich 100—200 Umdrehungen:

Nr. des Versuchs	Mittlere Umdrehungszahl	Höchste Umdrehungszahl	Saughöhe Meter	Volumetrischer Wirkungsgrad %
5	100	108	0,85	94,5
6	104	112	4,0	94,7
7	128	140	4,0	96,4
8	136	145	2,4	97
9	140	152	4,0	96,7
10	160	184	4,0	97,3
11	172	184	3,0	98,7
12	176	180	4,0	97,3
13	188	200	3,1	98,1
14	192	212	3,1	98,1
15	196	216	4,0	97,6

Die Steuerung war auf $4\frac{1}{2}$ mm ungesteuerten Spielraum eingestellt, so dass sich das Ventil erst nach dem Hubwechsel schliessen konnte und der volumetrische Lieferungsgrad sich niedriger als bei geringerem Spielraum im Todtpunkte ergeben musste. Der Gang der Pumpe war aber bei allen Versuchen befriedigend und geräuschlos. Der Lieferungsgrad nahm mit der Geschwindigkeit zu und war auch bei den höchsten Betriebsgeschwindigkeiten sehr befriedigend.

Um diese Thatsache weiter zu prüfen, wurde eine dritte Versuchsreihe durchgeführt (Versuch 16—33). Auch bei diesen Versuchen war der Gang der Pumpe vollständig zufriedenstellend, dieselbe immer vollgefüllt, das Spiel der Ventile ruhig und vollständig gleichmässig.

Nr. des Versuchs	Mittlere Umdrehungszahl	Maximale Umdrehungszahl	Saughöhe Meter	Volumetrischer Wirkungsgrad %
16	104	116	1	94,4
17	125	136	1,5	97,1
18	148	160	1,6	97,6
19	148	160	1,7	97,6
20	160	184	2	98,2
21	188	204	2,2	98,2
22	196	214	2,2	98,3
23	128	140	2,5	96,5
24	172	184	3,0	95,9
25	132	140	1,5	97,1
26	168	180	3,0	95,9
27	116	128	1,4	95,6
28	160	176	2,9	97,1
29	116	130	1,5	96
30	164	176	3,0	96,6
31	120	132	1,5	96,6
32	156	168	3,0	96,6
33	124	132	3,0	96

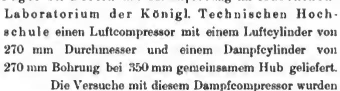
Die höchste mit den vorhandenen Betriebsmitteln erreichte Geschwindigkeit war 220 minutliche Umdrehungen, wobei die Pumpe bis 4 m Saughöhe tadellos lief.

Im übrigen bestätigte die Erprobung dieser grossen Pumpe die Ergebnisse der Prüfung der vorangegangenen Pumpe.

Versuche mit rasch laufenden Compressoren.

(Mit neuen rückläufigen Druckventilen.)

Auf Veranlassung des Herrn Geh. Regierungsraths Professor Riedler hat die Maschinenbauanstalt A. Borsig in Tegel bei Berlin mir zur Erprobung im Maschinen-



Laboratorium der Königl. Technischen Hochschule einen Luftcompressor mit einem Luftcylinder von 270 mm Durchmesser und einem Dampfcylinder von 270 mm Bohrung bei 350 mm gemeinsamem Hub geliefert.

Die Versuche mit diesem Dampfcompressor wurden im März 1899 ausgeführt und hatten den Zweck:

die Wirkungsweise des Compressors und der neuen Druckventile festzustellen, und zwar bei der normalen Umlaufszahl von 120 Umdrehungen minutlich, für welche die Maschine berechnet ist, sowie bei der darüber hinaus erreichbaren Geschwindigkeit; insbesondere war

die Bewegung der Druckventile bei den verschiedenen Geschwindigkeiten festzustellen und

etwa nothwendige Veränderungen in der Bauart der Einzelheiten durch die Versuche zu ermitteln.

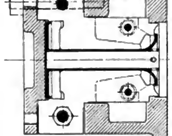


Fig. 11.

Der Compressor wurde von der Maschinenfabrik A. Borsig nach den Entwürfen der Herren Prof. Riedler und Stumpf ausgeführt. Abgesehen von Einzelheiten in der constructiven Ausbildung liegt das wesentlich Neue in den Druckventilen mit ihrer Eröffnungsbewegung nach dem Cylinderinnern hinein und ihrem Zwangsschluss durch den Compressorkolben am Ende jedes Druckhubs.

Der Eintritt der Luft bei der Saugperiode wird durch zwangläufig bewegte Rundschieber gesteuert. Die Druckventile, deren Anordnung und Detailausbildung sich aus Fig. 11 ergibt,

sind Tellerventile aus Stahl mit einem Führungsrohr, an dessen Ende ein Druckkolben angebracht ist. Durch die Höhlung des Führungsrohres tritt die Luft während ihrer Verdichtung hinter den Druckkolben und erzeugt auf diesen wirkend den Eröffnungsdruck des Ventils. Dieser Eröffnungsdruck entspricht daher dem eines gewöhnlichen Plattenventils, dessen Querschnitt gleich ist der Fläche des Druckkolbens minus Fläche des eigentlichen Ventils. Das Ventil öffnet sich jedoch nicht wie ein gewöhnliches Ventil nach aussen, sondern nach dem Cylinderinnern, entgegen der Luftströmung beim Durchtritt durch das geöffnete Ventil.

Der Druckkolben zur Erzeugung des Eröffnungsdrucks bewirkt zugleich bei der Eröffnung des Ventils die Verzögerung der Ventilmasse durch Luftpufferwirkung und die Hubbegrenzung. Die Wirkung des Luftpuffers kann durch eine Stellschraube geregelt werden.

Der Zwangsschluss der Druckventile erfolgt am Ende jedes Druckhubs durch den Compressorkolben. Eine im Kolben eingeschaltete Feder hat eine sanfte Berührung zu vermitteln, auch zugleich die Schlusskraft, entsprechend den augenblicklichen Widerständen, zu regeln. Die Anordnung der Ventile und Schieber, sowie des Zusammenbaus ergeben sich aus Fig. 12.

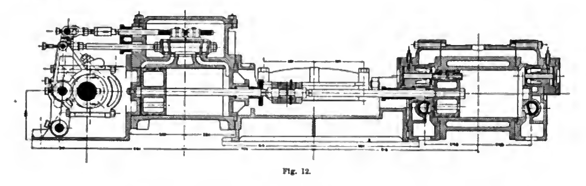


Fig. 12.

Der Compressor wurde im Maschinen-Laboratorium der Technischen Hochschule auf den für solche Versuche vorgesehenen Fundamenten aufgestellt. Da die Schwungräder nicht in das Fundament eingelassen werden konnten, musste der Compressor durch Holzbalken erhöht aufgestellt werden. Diese Aufstellung war zwar nicht tadellos, genügte aber für die Versuche. Die Dampfzu- und Ableitung wurde durch bewegliche Metallschläuche hergestellt. Als Druckwindkessel wurde der grosse Pumpenwindkessel des Laboratoriums benutzt und derselbe mit dem Compressor vorläufig durch einen Metallschlauch von 30 mm lichter Weite und etwa 15 m Länge verbunden. Als Messvorrichtungen dienten ausser den gewöhnlichen Indicatoren ein Indicator, dessen Schreibzeug unmittelbar die Ventilerhebungen aufzeichnete.

Bei den Versuchen waren zunächst die Steuerungen richtig zu stellen, und zwar die Saugsteuerung für einen mittleren Betriebsdruck von 3 Atm., entsprechend dem Einfluss der Ausdehnung der Luft im schädlichen Raume, wobei die Schieber auf der vorderen Seite in der Todtlage, auf der hinteren Seite 3 mm nach der Todtlage schlossen. An der hinteren Cylinderseite wurde deshalb etwa 1% des Kolbenhubs nicht ausgenutzt, was bei den volumetrischen Messungen nicht berücksichtigt wurde. Die Drucksteuerung wurde so eingestellt, dass die Schliessfedern in der Todtlage des Kolbens $1\frac{1}{2}$ mm zusammengepresst waren.

Bei diesen Vorversuchen ergaben sich die Diagramme *a* Fig. 13, die keinen Beschleunigungsdruck bei der Eröffnung der Druckventile zeigten, was unwahrscheinlich erschien, und deren Drucklinie erheblich über dem Druck des Windkessels lag.

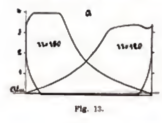


Fig. 13.

Die Ursache des gleichmässig verlaufenden Drucks musste in den Widerständen der Druckrohrleitung gesucht werden. Es wurde deshalb dicht neben dem Compressor ein Luftbehälter von 400 l Inhalt zur Ausgleichung eingeschaltet und dieser durch eine 100 mm weite Rohrleitung mit dem Haupt-Druckwindkessel verbunden. Die Aufstellung des Compressors mit dem Windkessel ist in Fig. 14 dargestellt.

Die Diagramme b Fig. 15, zeigen den Arbeitsvorgang bei der normalen Betriebsgeschwindigkeit von 120 Umdrehungen minutlich und einem von 2 bis 6 Atm. zunehmenden Compressionsdruck.

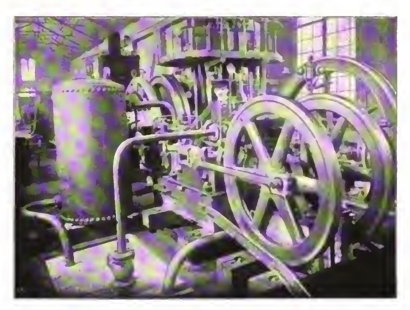


Fig 14

Auf der hinteren Cylinderseite zeigte sich ein geringes Ansteigen des Druckes kurz vor dem Hubwechsel, was auf zu grosse Federspannung und dadurch bewirkten zu frühzeitigen Schluss hindeutete. Durch geringere Spannung oder gänzliche Beseitigung der Feder wurde diese Druckzunahme beseitigt.

Die Ventile arbeiteten bei diesem Betriebe gut. Die Berührung mit dem Kolben bei Beginn der Schlussbewegung und der Ventilschluss selbst waren nicht hörbar und der Gang der Maschine gleichmässig.

Um festzustellen, welchen Einfluss die Schliessfeder im Compressorkolben und etwaige Ungenauigkeiten der Einstellung auf den Ventilschluss ausübe, wurde der Kolben so eingebaut, dass zwischen dem Ventil und dem steuernden Compressorkolben in seiner Todtlage

3 mm Spielraum gelassen, also die Ventile nicht ganz geschlossen wurden, sondern bei Umkehrung des Kolbens den vollständigen Schluss selbstthätig vollenden mussten.

Bei dieser Einstellung und bei verschiedener Geschwindigkeit wurden Cylinderdiagramme *c* Fig. 16, aufgenommen. Die Diagramme zeigten wie früher regelmässigen Verlauf, die Ventile

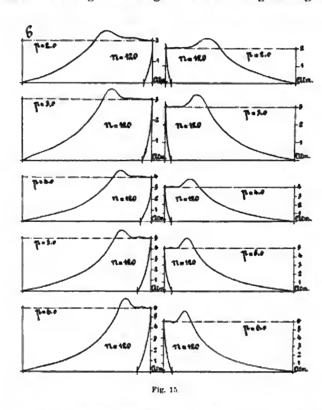


Fig. 15.

schlossen trotz des (nicht gesteuerten) Spielraumes stossfrei und nicht hörbar, aber mit Verspätung, die im Ventilerhebungs-Diagramm (s. später) zu erkennen war. Die Diagramme *d* Fig. 17 sind aufgenommen bei solcher Einstellung des Kolbens, dass der nichtgesteuerte

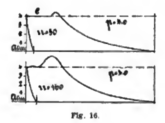


Fig. 16.

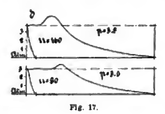


Fig. 17.

Spielraum zwischen Ventil und Kolben in seiner Todtlage auf 6 mm vergrössert ist. Der Ventilschluss erfolgte jetzt nicht mehr stossfrei, sondern mit Lärm. Der Stoss des auf grösserem Wege sich selbstthätig schliessenden Ventils, sowie das Geräusch wurde jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit etwas geringer.

Grösserer, nicht gesteuerter Spielraum von etwa 2% des Kolbenweges ist daher unzulässig, da ruhiger Gang und rechtzeitiger Schluss nicht mehr zu erreichen sind.

Der Compressor wurde weiter bei niedrigem, mässigem und hohem Luftdruck und bei wechselnder Geschwindigkeit in zahlreichen Versuchen erprobt und die Umdrehungszahl hierbei bis auf das Doppelte der normalen Betriebsgeschwindigkeit (240 Umdrehungen minutlich) gesteigert, wobei sich bei normaler Einstellung der Steuerung stets stossfreier, geräuschloser Ventilschluss ergab.

Auch eine weitere Steigerung der Umdrehungszahl liess der Compressor zu, aber die mangelhafte Fundirung der Maschine und die nicht ausgeglichenen Triebwerksmassen waren einem solchen Betrieb hinderlich. Die Ventile arbeiteten auch bei dieser gesteigerten Geschwindigkeit fast geräuschlos.

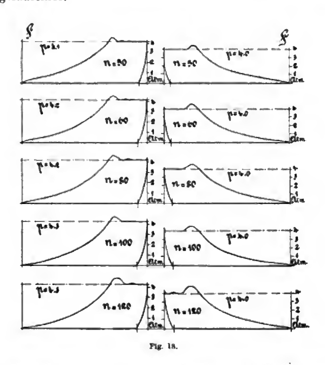


Fig. 18.

Die Diagramme *f* Fig. 18, zeigen die Druckverhältnisse im Cylinder bei verschiedenem Druck und steigender Betriebsgeschwindigkeit von 50 bis 120 Umdrehungen, Fig. 19 von 100 bis 200 Touren.

Die Abmessungen der Saugöffnungen und Schieber waren für 120 Umdrehungen minutlich bemessen; bei Geschwindigkeiten über 150 Umdrehungen minutlich ergaben sich hier grosse Luftgeschwindigkeiten, so dass das Ansaugen der Luft geräuschvoll und mit weiter zunehmender Geschwindigkeit immer stärker hörbar wurde. Auch die Diagramme zeigen die Zunahme der Saugspannung.

Um die Bewegung der Druckventile bei den oben erwähnten Versuchen genau verfolgen und beurtheilen zu können, wurden Ventilerhebungsdiagramme genommen.

Zu diesem Zwecke wurde das Druckventil unmittelbar mit dem Schreibstift eines Indicators verbunden, was zulässig war, da der Ventilhub kleiner als der Indicatorkolbenhub war. Die Ordinaten in den Diagrammen entsprechen daher den Ventilerhebungen, die Abscissen — da die Indicatortrommel vom Maschinengestänge angetrieben wurde — dem Kolbenwege.

In solcher Weise wurden aufgenommen: Ventilerhebungsdiagramme g_1—g_3 bei gewöhnlicher Einstellung der Steuerung (geringer Anspannung der Feder im Kolbenhubwechsel).

Diagramme g_1 Fig. 20 zeigen für verschiedenen Luftdruck die mit der Umlaufszahl (40—150) zunehmenden Ventilerhebungen bei Einstellung des Luftpuffers auf verschiedenen Widerstand.

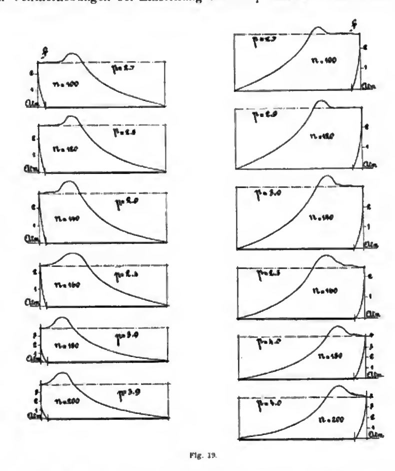


Fig. 19.

Die Eröffnungscurven zeigen ganz regelmässiges rasches Eröffnen bei Geschwindigkeiten bis zu 60 Umdrehungen minutlich ohne nennenswerthe Verzögerung durch den Puffer am Ende der Eröffnungsbewegung des Ventils. Bei der zunehmenden Geschwindigkeit nimmt jedoch die Luftpufferwirkung rasch zu, zugleich aber, infolge grösserer Beschleunigung, auch die Ventilerhebung. (Die Schlusscurven sollten bei Ende des Schlusses ganz zusammenfallen; die Diagramme zeigen jedoch eine geringe Verschiedenheit der Endpunkte, weil bei grösserer Geschwindigkeit eine grössere Streckung der Indicatorschnur sich bemerkbar machte. Für den Vergleichszweck dieser Diagramme schien aber die Beseitigung dieses Mangels nicht erforderlich.)

Die Diagramme g_2 Fig. 21 zeigen die Druckventilbewegung bei normal 120 Umdrehungen minutlich bei verschiedener Einstellung und mit ihr zunehmender Wirkung des Luftpuffers im Druckventil.

Diagramme g_3: Fig. 22 Druckventilerhebung bei geringer Wirkung des Luftpuffers und zunehmender Betriebsgeschwindigkeit von 50, 90, 100, 120, 160 und 200 Umdrehungen

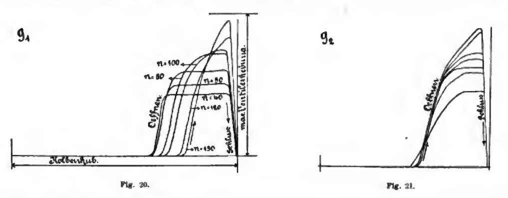


Fig. 20. Fig. 21.

minutlich. Alle Diagramme zeigen gleichmässige Ventileröffnung, zunehmende Verzögerung gegen Ende der Ventilerhebung und darauf folgenden raschen, gleichmässigen Schluss der Ventile knapp vor dem Hubende.

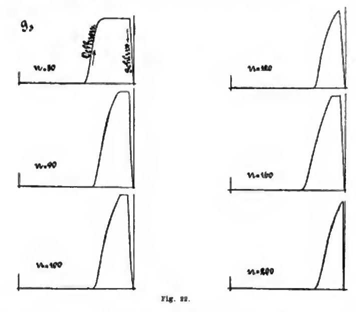


Fig. 22.

Bei keinem Versuche konnte irgend welches Flattern der Ventile oder unregelmässige Ventilbewegung beobachtet werden.

Die Diagramme h und i (Fig. 23 u. 24) mit theilweise ungesteuertem Ventilweg sind nicht wie die früheren Ventilerhebungsdiagramme proportional der Kolbenbewegung aufgenommen, sondern die Indicatortrommel wurde von einem Excenter angetrieben, derart, dass der Schluss

der Ventile bei grösster Geschwindigkeit der Indicatortrommel erfolgte. Hierdurch sind die Oeffnungs- und Schliessungscurven etwas gestreckter geworden, und die Vorgänge, die sich sonst im Hubwechsel abspielen, sind deutlicher zu erkennen.

In diesen Diagrammen ist nunmehr die Curve rechts die Eröffnungscurve. Sie zeigt die gleichmässige Ventilerhebung und darauf folgend die verzögernde Wirkung des Luftpuffers.

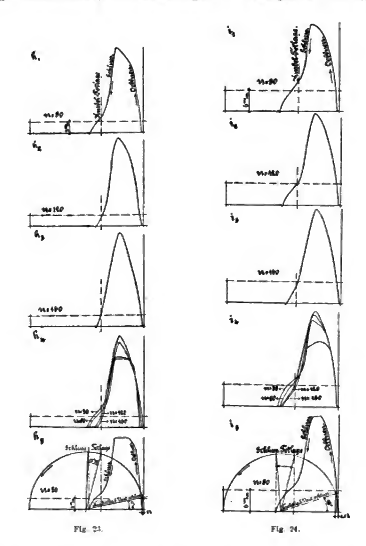


Fig. 23. Fig. 24.

Die gegen die Mitte links gelegene Curve ist die Schlusscurve. Sie zeigt den raschen Ventilschluss durch den Compressorkolben und gegen das Ende den langsamen selbstthätigen Schluss.

Die Diagramme h sind bei 3 mm ungesteuertem Spiel und verschiedenen Geschwindigkeiten, von 50 bis 160 Umdrehungen minutlich, aufgenommen, wobei die Verspätung durch den selbstthätigen Schluss bei geringen Geschwindigkeiten höher ist als beim gesteigerten Betriebe.

Diagramme *i* sind bei 6 mm ungesteuertem Spiel und sonst denselben Verhältnissen wie *h* aufgenommen.

Die Diagramme *k* Fig. 25 sind bei normaler Einstellung der Steuerung (schwaches Zusammendrücken der Feder in der Todtlage des Compressorkolbens, kein ungesteuerter Ventilweg) aufgenommen, und zwar bei von 80 bis 200 Umdrehungen minutlich steigender Geschwindigkeit. Die Bewegung des Indicators ist gleichfalls von einem Excenter abgeleitet.

Die Diagramme zeigen übereinstimmend, dass die Druckventile stets mit regelmässigem Schluss ohne Flattern arbeiten. Bei grösseren Geschwindigkeiten findet kurz vor dem Todtpunkt des Kolbens ein geringes vorzeitiges Schliessen und geringes Wiederöffnen des Druckventils statt, jedoch fällt der Schluss des Ventils immer genau mit der Todtpunkt-

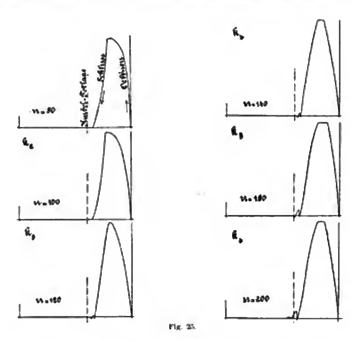


Fig. 25.

stellung des Kolbens zusammen. Im Cylinderdiagramm und im Gang der Ventile ist dies nicht wahrnehmbar.

Der volumetrische Wirkungsgrad des Compressors konnte durch besondere Versuche genau nicht ermittelt werden. Er ergibt sich, aus den Diagrammen berechnet, zu 93 bis 95,5 %.

Hierbei ist der Einfluss des 3 mm nach dem Todtpunkt der Maschinenkurbel schliessenden Saugschiebers nicht berücksichtigt, wohl aber der Einfluss des schädlichen Raumes.

Der mechanische Wirkungsgrad ergab sich bei normalem Gang von 120 Umdrehungen minutlich, bei einem mittleren Arbeitsdruck im Dampfcylinder $p = 2,03$ und einem mittleren Widerstand im Compressor $p = 1,73$, im Mittel zu 85,7 %. Beide Werthe des Wirkungsgrades sind für eine so kleine Maschine ausreichend hoch.

Das Ergebniss der Versuche kann daher dahin zusammengefasst werden: dass die rückläufigen Ventile bei allen Untersuchungen (wechselnden Betriebsspannungen und allen

Geschwindigkeiten und Geschwindigkeitsänderungen bis zu einem über das Doppelte des normalen Gangs forcirtem Betriebe) tadellos arbeiteten und stets ruhigen, präcisen Ventilgang zeigten. Die Steuerung erwies sich gegenüber Ungenauigkeiten in der Einstellung bis zu 1% des Kolbenweges als unempfindlich.

Die Versuche haben die Nothwendigkeit einer Verbesserung der Ventilconstruction nicht ergeben. Bei solchen Compressoren, welche bei ihrer grossen Steigerungsfähigkeit auch andauernd mit grossen Geschwindigkeiten betrieben werden sollen, müssen jedoch die Canäle und Rohrquerschnitte richtig bemessen und die einseitig wirkenden Massen ausgeglichen werden Die Schmierung des Compressors kann vereinfacht werden, da die Kolbenschmierung allein auch für die Saugschieber und Druckventile vollständig ausreicht; ebenso kann der Antrieb der Saugschieber vereinfacht werden.

Versuche mit Mammuthpumpen.

(Druckluftwasserheber.) [1]

Die Bestrebungen, Flüssigkeiten unmittelbar mittels Luftdruckes, d. h. ohne Benutzung von Pumpen gewöhnlicher Bauart zu fördern, haben bereits zu verschiedenen brauchbaren Vorrichtungen geführt, deren Anwendung jedoch theils wegen der umständlichen Anordnungen, theils wegen der geringen wirthschaftlichen Erfolge nur auf einzelne Betriebe beschränkt blieb. Wo es sich z. B. um Förderung von Säuren oder dicken, schlammigen Flüssigkeiten handelt, die durch gewöhnliche Pumpen nicht bewältigt werden können, benutzt man ein Verfahren, die Luft in einem geschlossenen Gefäss auf die zu hebende Flüssigkeit drücken zu lassen. Bekannt ist die in neuerer Zeit nach diesem System öfter ausgeführte Entleerung von Canalisationsgruben [2].

Eine ausgedehntere Anwendung hat jedoch diese Art Flüssigkeitshebung nicht erlangt, da Abschlussorgane für Luft und Flüssigkeit dabei nicht zu vermeiden sind und der Betrieb nur absetzend sein kann, was namentlich bei grösseren Fördermengen zu unbequemen Constructionen führt.

Demgegenüber hat ein anderes, schon seit 100 Jahren bekanntes Verfahren der Druckluft-Wasserhebung, dem diese Mängel nicht anhaften, in neuerer Zeit verhältnissmässig so gute Erfolge ergeben, dass diese Förderungsart bereits ausgedehnte Anwendung in vielerlei Betrieben gefunden hat. 1797 beschrieb der Bergmeister Carl Emanuel Löscher die Erfindung eines »Aërostatischen Kunstgezeuges, womit ohne alles Schöpf- und Pumpwerk Rohrwasser auf etliche 100 Ellen hochgebracht werden kann«. Die sehr eingehenden Versuche Löschers bestanden im Wesen darin, dass er ein Rohr (das Steigrohr) in einen mit Wasser gefüllten Behälter so tief eintauchen liess, dass ein Theil des Rohres über, ein Theil unter Wasser war und durch ein zweites Rohr von kleinerem Querschnitt Luft in die unter Wasser befindliche Oeffnung des grösseren Rohres einblies. Die Luftblasen mischten sich mit dem im Steigrohr befindlichen Wasser und verminderten dessen specifisches Gewicht, so dass das Wasser- und Luft-

[1]) Bereits in der Z. d. V. D. Ing. Jahrgang 1898 veröffentlicht

[2]) Vergl. Z. 1895 S. 1450; 1896 S. 996.

gemisch durch den Druck der Wassersäule im Behälter über dessen Wasserstand hoch hinausgetrieben und unter Umständen zum Ausfliessen aus dem Steigrohr gebracht wurde.

Lange Zeit haben die Versuche Löscher's eine praktische Anwendung nicht gefunden. Erst im Jahre 1846 wurde der ihnen zu Grunde liegende Gedanke durch den Amerikaner Cockford wieder aufgegriffen, der nach demselben Grundsatz Petroum in Pennsylvanien aus den Bohrlöchern förderte. Weiter ausgebildet wurde das Verfahren durch Frizzel in Boston, Alexander Schnee und namentlich durch Dr. Pohlé in Amerika, der es zum Fördern von Wasser bereits in grösserem Maassstabe angewendet hat. In neuerer Zeit hat die Pneumatic Engineering Co. in New-York die Verwerthung in die Hand genommen.

In Frankreich wurde zuerst 1886 von Goudry Schwefelsäure nach dem Löscherschen Verfahren gehoben; diese Vorrichtungen wurden unter dem Namen »Emulseurs« bekannt. Jetzt hat die Compagnie de l'Air comprimé in Paris in diesen Druckluft-Wasserhebern ein willkommenes Mittel gefunden, ihr Absatzgebiet für Druckluft zu vergrössern, und es sind bereits in Paris mehrere Anlagen mit gutem Erfolge in Thätigkeit.

Wohl unabhängig von diesen Ausführungen, war es Werner Siemens 1885 in Deutschland gelungen, brauchbare Ergebnisse mit dieser Art Wasserförderung zu erzielen[1]). Eine allgemeinere Verwerthung haben die Druckluft Wasserheber bei uns jedoch erst nach der Chicagoer Ausstellung gefunden, und zwar durch die Firma A. Borsig in Berlin (Director F. M. Grumbacher), die sie bei uns einbürgerte und derart ausbildete, dass jetzt bereits über 130 grössere Anlagen ausgeführt sind.

Ich wurde durch eine Aufforderung der Firma A. Borsig, eingehende Vergleichsversuche mit Druckluftwasserhebern dieses Systems, jedoch verschiedener Bauart, anzustellen, veranlasst, diese Flüssigkeitsförderung näher zu untersuchen. Die Versuche wurden im Herbst 1897 in dem mir unterstellten Maschinenlaboratorium der Techn. Hochschule in Berlin und an einigen Anlagen der Industrie ausgeführt.

Bevor ich über die hierbei gewonnenen Versuchsergebnisse berichte, möchte ich auf die Bauart der Wasserheber, insbesondere der Borsigschen, die von der Firma als Mammuthpumpen bezeichnet werden, näher eingehen.

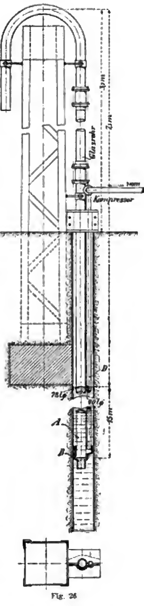


Fig. 26

In Fig. 26 und 27 ist eine Pumpe dargestellt, die von der Firma A. Borsig dem Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Berlin in dankenswerther Weise zur Verfügung gestellt worden ist, und die auch mit bei den Versuchen benutzt wurde. Die Pumpe fördert aus einem 30 m tief niedergetriebenen Rohrbrunnen von 156 mm Durchmesser, in welchem das Grundwasser in

[1]) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleisses 1885.

der Regel 4 m unter Erdoberfläche steht. In dieses Bohrrohr ist die Mammuthpumpe eingehängt, die aus dem glatten Steig- oder Förderrohr A und dem sogen. Fussstück B besteht, in das die Druckluft durch das Luftrohr D eingeführt wird. Das Fussstück ist so gebaut, dass die Luft am ganzen Umfange dem Förderrohre zuströmen kann. Luft- und Steigrohr liegen dicht neben einander, damit das zu ihrer Aufnahme bestimmte Brunnenrohr möglichst kleine Durchmesser erhält. Die Rohre sind mittels einer gusseisernen Schelle befestigt, die sich auf den oberen Rand des Bohrrohres aufstützt. Bei der Versuchspumpe ist ein Stück des eisernen Förderrohres über dem Erdboden durch Glasrohr ersetzt, damit man das aufsteigende Wasser- und Luftgemisch beobachten kann. Das Förderrohr giesst in einen Behälter frei aus.



Fig. 27

Sobald man Druckluft von einer Spannung entsprechend der Höhe der über dem Fussstück stehenden Wassersäule in das Luftzuführungsrohr eintreten lässt, sieht man die Wassersäule im Förderrohre aufsteigen, und zwar zunächst nahezu luftlos. Es bildet sich augenscheinlich beim Austritt der Druckluft aus dem Fussstück im Förderrohr ein Luftkolben, der das Wasser vor sich her schiebt. Ist die Pumpe im Beharrungszustande, so ist das Wasser im Steigrohr mit kleinen Luftbläschen von der Grösse einer Erbse schaumartig gemischt. In gewissen Zwischenräumen wird dieses Gemisch von grossen Luftblasen durchsetzt, die den ganzen Querschnitt des Steigrohres erfüllen und sich durch das aufsteigende Wasser- und Luftgemisch hindurchdrängen. Hierdurch wird bedingt, dass die Geschwindigkeit des Wasser- und Luftgemisches veränderlich ist, denn, nachdem eine solche Luftblase hindurch getreten ist, sinkt das Wasser jedesmal etwas zurück, d. h. es vermindert seine Geschwindigkeit, was bei mässiger Förderung sehr deutlich zu sehen ist und den Eindruck erweckt, als ob das Wasser zeitweise zurückfiele. — Die treibende Kraft zum Heben des Wasser- und Luftgemisches im Steigrohr ist die Wassersäule ausserhalb desselben. Diese muss deshalb für eine bestimmte Förderhöhe eine bestimmte Grösse haben, d. h. die Eintauchtiefe des Wasserhebers richtet sich nach der Förderhöhe, auf welche das Gemisch von Wasser und Luft gehoben werden soll. Sie beträgt bei Wasser in der Regel das Ein- bis Anderthalbfache der Förderhöhe, was allerdings unter Umständen sehr tiefe Brunnen ergibt. Es ist dies jedoch nicht immer ein Nachtheil; z. B. bei Förderung von Wasser aus Bohrlöchern der Abessinierbrunnen, die meist mehr als 30 m tief sind, ist die Eintauchtiefe in der Regel ohne Weiteres zu erreichen.

Das Wasser lässt man aus dem Steigrohr frei ausfliessen, um es zu entlüften. Durch die innige Mischung mit der Luft wird ein Theil des im Wasser etwa enthaltenen Eisens

entfernt und das Wasser dadurch wesentlich verbessert. Immerhin wird aber die eigentliche Enteisenungsanlage dadurch nicht überflüssig.

Die Pumpe kommt in Betrieb, sobald Luft in genügender Menge und Spannung zugeführt wird; sie kann also durch einfaches Oeffnen eines Lufthahnes von einer Stelle aus in Gang gesetzt werden, die von der eigentlichen Pumpe weit entfernt ist. Dieser Vortheil kommt namentlich in Betracht, wo Wasser aus grossen Entfernungen herangeschafft werden muss, also wo sonst eine Maschinenstation an der Wasserentnahmestelle angelegt werden müsste. Dies ist z. B. der Fall bei der Anlage der Kammgarnspinnerei Zwickau, wo durch einen Wasser-

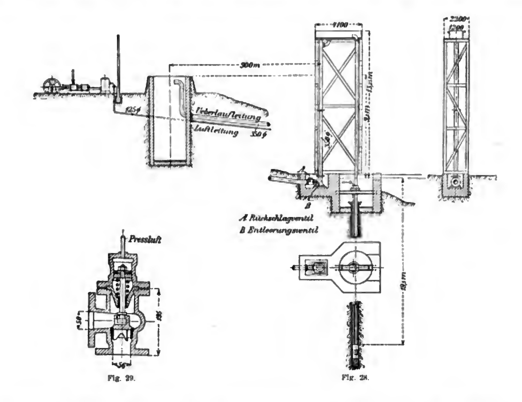


Fig. 29. Fig. 28.

heber 4 cbm Wasser pro Minute der Mulde entnommen und 9,2 m hoch nach der 900 m entfernten Spinnerei gefördert werden.

Die Anordnung dieser Anlage ist aus Fig. 28 ersichtlich. Da es nicht möglich ist, die Fernleitung unmittelbar an das Steigrohr anzuschliessen, weil das aus dem Förderrohr strömende Wasser erst noch zu entlüften ist, so muss in allen Fällen, wo es sich um die Fortleitung des von Mammuthpumpen geförderten Wassers auf grössere Entfernungen handelt, das Wasser aus dem senkrecht in die Höhe zu führenden Steigrohr in ein so hoch gelegenes, offenes Becken ausfliessen, dass es daraus durch Ueberfallleitung zur Verbrauchsstelle geführt werden kann. Da bei der Anlage in Zwickau das Wasser auf 9,2 m Höhe gefördert werden muss, ist das Ausgussbecken auf 13,25 m Höhe angebracht, um genügende Druckhöhe in der Ueberfallleitung zur Verfügung zu haben. Die zum Betrieb der Pumpe nöthige Druckluft wird in der Spinnerei

durch einen Dampfcompressor erzeugt und durch eine ebenfalls rd. 900 m lange Luftleitung dem Wasserheber zugeführt.

Damit im Winter, wenn die Pumpenanlage nicht in Betrieb ist, der nicht in die Erde eingebettete senkrechte Theil der Ueberfallleitung vor Einfrieren geschützt wird, ist an ihrer tiefsten Stelle ein selbstthätiges Entleerungsventil eingebaut, Fig. 29, welches so eingerichtet und mit der Druckluftleitung der Mammuthpumpe derart verbunden ist, dass es durch eine Feder geöffnet wird, sobald dort keine Pressung mehr herrscht. Um dabei zu verhüten, dass sich der wagrechte, in der Erde liegende Theil der Ueberfallleitung entleert, ist ein Rückschlagventil *A*, Fig. 28, angeordnet.

Aehnlich liegen die Verhältnisse bei der Anlage der Zuckerfabrik Glogau, Fig. 30, bei der das Wasser aus einem Arm der Oder, dem Schwarzgraben, nach der 430 m entfernten und rd. 15 m höher gelegenen Zuckerfabrik zu schaffen ist. Die Entnahmestelle am Fluss ist in

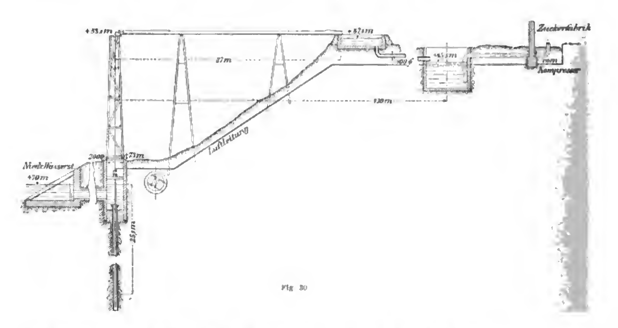


Fig. 30

der photographischen Ansicht, Fig. 31, dargestellt. Am Ufer ist zunächst ein Schacht von 2 m Durchmesser aufgemauert, der durch ein Anlaufgerinne mit dem Fluss in Verbindung steht. Innerhalb dieses Schachtes ist ein Bohrrohr von etwa 26 m Tiefe und 650 mm Durchmesser niedergetrieben, um die nöthige Eintauchtiefe für die Mammuthpumpe zu schaffen. Wie bei der Zwickauer Anlage wird auch hier das Wasser zunächst hoch gefördert und durch eine oben offene Rinne geleitet, um die Luft zu entfernen. Von der Rinne gelangt es in einen Behälter, der mittels Ueberlaufleitung mit dem Sammelbrunnen der Zuckerfabrik verbunden ist.

Bei der Anlage in Glogau sind zwei Pumpen für je 3 cbm/min nebst zwei Luftzuführleitungen neben einander angeordnet. Diese Theilung ist mit Rücksicht auf die grössere Regulirfähigkeit vorgenommen worden, da es hierdurch möglich ist, durch Zu- und Ausschalten einer Pumpe sich dem wechselnden Bedarf besser anzupassen.

Während es bei gewöhnlichen Pumpen nur dann möglich ist, heisse Flüssigkeit zu fördern, wenn diese der Pumpe unter Druck zugeführt wird, die letztere also tiefer als der Flüssigkeitsspiegel zu setzen ist, bietet sich bei Verwendung von Druckluft-Wasserhebern hierbei nicht nur kein Hinderniss, sondern noch ein Vortheil. Die zugeführte Luft erwärmt sich im heissen Wasser, und da sie dabei ihr Volumen vergrössert, so erfordert die Förderung einen geringeren Luftaufwand als bei kaltem Wasser.

Ein solche Anlage ist in der Zuckerfabrik Stendal ausgeführt worden, Fig. 32. Hier ist ein Bohrrohr niedergetrieben, lediglich um die nöthige Eintauchtiefe zu gewinnen. Die Pumpe dient dazu, die heissen Wasser der Fabrik, die eine Temperatur von 90—95° haben, um 4,25 m zu heben. Bemerkenswerth ist bei dieser Anordnung, dass der Wasserspiegel in



Fig 31.

dem Förderbrunnen durch einen Schwimmer auf gleicher Höhe gehalten wird, welcher den Dampfcompressor beim Ansteigen des Wassers selbstthätig in Betrieb und beim Sinken ausser Betrieb setzt.

Besonders günstig für den Betrieb mit Mammuthpumpen liegen die Verhältnisse, wenn grosse Saughöhen überwunden werden müssen. Die Anwendung gewöhnlicher Pumpen macht es in diesem Falle nöthig, geräumige Schächte herzustellen, in welche die Pumpmaschine so tief einzubauen ist, dass die Saughöhe auf normale Verhältnisse verringert wird. Die Herstellung dieser Schächte und der Einbau dieser Maschinen, bei denen häufig Gestängeantrieb verwendet werden muss, also nur geringe Umlaufzahl zulässig ist, erfordert erhebliche Kosten, die bei der Anwendung der Mammuthpumpe entfallen, da gerade diese ihrer Bauart nach sich vorzüglich für solche Fälle eignet. An Stelle des kostspieligen Schachtes ist ein Bohrrohr niederzutreiben,

in welches einfach die Pumpe eingehängt wird. Der Unterschied in den Anlagekosten wird noch beträchtlicher, wenn das Wasser ohnedies durch Rohrtiefbrunnen beschafft werden muss.

Bei den Druckluft-Wasserhebern sind Ventile, Klappen, Membranen, kurz alle beweglichen, dem Verschleiss unterworfenen Theile gewöhnlicher Pumpen entbehrlich, und darin liegt mit ihr grosser praktischer Vortheil. Die gewöhnlichen Tiefbrunnenpumpen leiden z. B. in der Regel dadurch, dass ein feiner, thoniger Sand gefördert werden muss, der nach verhältnissmässig kurzer Betriebszeit Packungen, Pumpenkolben und Ventile stark angreift, so dass häufige Betriebsstörungen und Ausbesserungen unvermeidlich sind. In einem solchen Falle ist bei den Druckluft-Wasserhebern, bei denen der ganze Querschnitt des Förderrohres frei bleibt

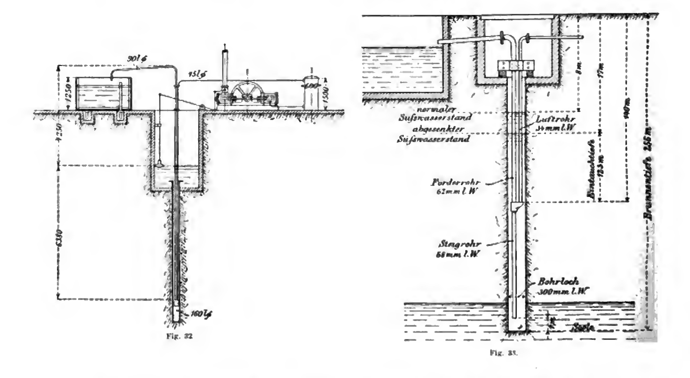


Fig. 32

Fig. 33.

und der Abnutzung unterworfene Theile gar nicht vorhanden sind, ein Versagen nahezu ausgeschlossen und eine fast vollkommene Betriebssicherheit gewährleistet. Die Abwesenheit von Ventilen, Klappen u. s. w. ermöglicht auch, Schlamm zu fördern, und in der That ist in Holland die Mammuthpumpe mit Erfolg zum Baggern verwendet worden.

Im Zusammenhang hiermit sind ferner erfolgreiche Versuche gemacht worden, Bohrrohre durch schwimmende Gebirge zu treiben. Beim Betriebe der Mammuthpumpe versinken die Bohrrohre zusehends im Schwimmsand, und ein dreizölliges Steigrohr fördert mehr, als drei Arbeiter wegzuschaffen im Stande sind.

Ebenso sind bereits in mehreren Anlagen die Druckluft-Wasserheber zum Fördern von Salzsoole, also einer Flüssigkeit mit grösserem specifischen Gewicht als Wasser, mit Erfolg verwendet worden. Bei der bekannten Eigenschaft der Salzsoole, Eisentheile stark anzufressen,

ist die Einfachheit der Mammuthpumpe ein grosser Vortheil, da die Luft- und Förderrohre ohne erheblichen Aufwand an Zeit und Kosten ersetzt werden können.

Für die Deutschen Solvay-Werke in Saaralben (Lothringen) sind allein zehn Pumpen ausgeführt, deren jede 217 ltr/min Soole von 1,2 specifischem Gewicht aus den Bohrlöchern auf 18 m Höhe fördert.

Die Gesammtanordnung geht aus Fig. 33 hervor. Die Soole führende Schicht befindet sich rd. 256 m unter Erdoberfläche. Ueber der Soole steht Süsswasser, in welches die Mammuthpumpe 123 m tief eingehängt ist. Diese grosse Eintauchtiefe ergibt sich aus dem Umstande, dass die das Förderrohr umgebende Süsswassersäule zuächst die specifisch schwerere Soole in dem an das Fussstück der Mammuthpumpe angehängten Steigrohr heben muss. Auf Wasser bezogen, ergibt sich eine rechnerische Förderhöhe der Pumpe von 70 m.

Versuche.

Nachdem aus den oben dargestellten Anlagen die mannigfache Verwendbarkeit der Druckluft-Wasserheber dargethan ist, wird man aus den an diesen Anlagen ausgeführten Versuchen sich ein Urtheil über die Eigenschaften dieser Pumpen bilden können. Obgleich diese Versuche bei weitem nicht ausreichen, um den Zusammenhang zwischen geförderter Wasser- und benöthigter Luftmenge, der Eintauchtiefe und Förderhöhe u. s. w. vollständig klar zu stellen, so sind sie doch bei Anlagen von so verschiedenen Verhältnissen vorgenommen, dass eine allgemeine Beurtheilung der Druckluft-Wasserheber möglich ist.

Die Versuche im Maschinenlaboratorium hatten zunächst den Zweck, Vergleichsergebnisse zu liefern zwischen der von der Firma A. Borsig gebauten sog. »Mammuthpumpe« mit glattem Steigrohr und der von einer andern Firma hergestellten »Wellrohrpumpe«, bei der das Steigrohr aus Wellblech gefertigt war. Die Wellen waren wagerecht angeordnet, so dass die Querschnitte des Steigrohres überall kreisförmig und nur von verschiedenen Durchmesser waren. Die Wellrohre sollten nach Angabe der ausführenden Firma unter sonst gleichen Verhältnissen eine grössere Wassermenge liefern als die glatten Steigrohre, indem die Wassertropfen dadurch verhindert würden, beim Aufsteigen des Luft- und Wassergemisches zurückzufallen. Wenn auch von vornherein zu erwarten war, dass die Anwendung des Wellrohres die Leistung eher verschlechtern würde, mussten doch die Versuche mit Rücksicht auf Patentverhältnisse durchgeführt werden. Zu diesem Zweck wurde im Maschinenlaboratorium ein Dampf-Luftcompressor von 150 mm Durchmesser und 150 mm Hub des Luftkolbens aufgestellt, da der später endgültig aufzustellende grosse Verbundcompressor noch nicht zur Verfügung stand. Dieser kleine Ventilcompressor war als Fabrikwaare erzeugt und daher nicht von vollkommenster Bauart. Die Druckluft wurde, bevor sie der Mammuthpumpe zuströmte, durch einen Windkessel geleitet.

Der Durchmesser des auf 30 m Tiefe gebohrten Rohrbrunnens von 156 mm war ausreichend, um neben Steig- und Luftzufuhrrohr noch die Einführung einer Messlatte zu ermöglichen, damit die Höhe des Wasserstandes im Brunnen im Betriebe gemessen werden konnte. Ueber dem Brunnen war ein Gerüst von 10 m Höhe errichtet und auf diesem ein Ausgussbecken angebracht worden, in welches das Steigrohr das geförderte Wasser ausgoss. Von diesem Becken führte eine Abfallleitung, die am unteren Ende mit einem Gummischlauch versehen war, das geförderte Wasser nach Belieben entweder in das Messgefäss von 2 cbm Inhalt oder

in eine mit dem Abflussrohr in Verbindung stehende Tonne. Diese Anordnung ermöglichte es, das geförderte Wasser, die Förderhöhe und die Eintauchtiefe im Beharrungszustande, d. h. dann zu messen, wenn der Wasserspiegel im Brunnen sich entsprechend der Wasserentnahme abgesenkt hatte. Steig- und Luftrohr der Pumpe waren an einem Flaschenzuge aufgehängt, und in das Luftzufuhrrohr war ein Kautschukschlauch eingeschaltet. In Folge dessen war es ausserordentlich leicht, die Eintauchtiefe und damit die Förderhöhe beliebig zu ändern.

Die Länge der Luftleitung zwischen Mammuthpumpe und Windkessel betrug etwa 15 m. Da in dieser Leitung mehrfach Kniestücke vorkamen, so wurde zur Beobachtung des Luftdruckes am Brunnen ein Manometer unmittelbar beim Eintritt des Luftzuführungsrohres in den Rohrbrunnen aufgesetzt.

Die zunächst ausgeführten Vergleichversuche wurden vorgenommen:

1. Mit einer Wellrohrpumpe, deren Steigrohr eine Höhe von 36,5 m, einen kleineren lichten Durchmesser von 70 mm und einen grösseren von 78 mm hatte;

2. mit einer Mammuthpumpe, deren Steigrohr gleiche Höhe (36,5 m) und eine dem kleineren Durchmesser des Wellrohres entsprechende lichte Weite, also 70 mm, hatte;

3. mit einer Mammuthpumpe von der gleichen Höhe des Steigrohres (36,5 m) und einer dem grösseren Durchmesser entsprechenden lichten Weite, also 78 mm.

Mit den drei Pumpen wurden je drei Versuchsreihen ausgeführt, die sich durch das Verhältniss von Förderhöhe zu Eintauchtiefe unterschieden. In jeder Versuchsreihe wurden drei einzelne Versuche angestellt, bei denen nur die in der Minute zugeführte Luftmenge verschieden war, während das Verhältniss von Förderhöhe zu Eintauchtiefe möglichst gleichbleibend gehalten wurde. Zur Berechnung der Luftmengen wurden die Umdrehungen des Luftcompressors durch einen Hubzähler bestimmt und an dem Luftcylinder Diagramme genommen, aus denen sich der volumetrische Wirkungsgrad ergab. Diese Berechnung wurde durch Messen der gelieferten Luftmenge geprüft und ergab hinreichende Genauigkeit; sie wurde deshalb auch bei anderen Versuchen zu Grunde gelegt. Die bei den Versuchen gewonnenen Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle I (S. 10) enthalten.

Diese Versuche ergaben zunächst, wie zu erwarten war, dass das Wellrohr nicht nur k e i n e Verbesserung darstellt, sondern dass die Wirkung der Pumpe durch die Anwendung desselben wesentlich beeinträchtigt wurde. Es ist klar, dass das Wellrohr dem aufsteigenden Wasser- und Luftgemisch einen viel grösseren Widerstand entgegensetzt als das glatte Steigrohr der Mammuthpumpe. Während bei dem glatten Steigrohre der günstigste Wirkungsgrad zwischen der indicirten Compressorarbeit und der Leistung in Bezug auf gehobenes Wasser 45% betrug, ergab das Wellrohr unter sonst gleichen Verhältnissen nur 25,7%. Dementsprechend betrug bei diesem Versuche die gelieferte Wassermenge nur etwa die Hälfte des von der Mammuthpumpe geförderten Wassers.

Es muss allerdings hervorgehoben werden, dass die Bauart des Fussstückes der Wellrohrpumpe von derjenigen der Borsigschen abwich. Während es bei der letzteren aus Rothguss nach Fig. 26 ausgeführt war, hatte man sich bei der Wellrohrpumpe darauf beschränkt, die Luft in das Steigrohr durch einfaches Umbiegen des Luftrohres central eintreten zu lassen, Fig. 34. Um zu ermitteln, welchen Einfluss diese verschiedene Bauart der Fussstücke auf die

Tabelle I.

Versuch No.	Bezeichnung der Pumpe	Eintauchtiefe: Förderhöhe E : F	Förderhöhe F m	Eintauchtiefe E m	Geförderte Wassermenge l/min	Wirkl. Leistung in gehoben Wasser PSe	Luftmenge (b. atm. Press.) l/min	Ind. Luftcyl.-Arbeit PSi	Luftbedarf b. atm. Pressung pro Lit. Wasserförderung l	Wirkungsgrad zwisch. Arbeit i. geförd. Wass. u. ind. Compr.-Arbeit %
1	glattes Steigrohr 70 mm	4 : 3	15,41	21,09	216	0,74	537,5	1,664	2,49	44,5
2			15,63	20,87	315	1,094	999	3,156	3,17	34,7
3			15,72	20,78	342,5	1,197	1294	4,8	3,78	27,9
7	desgl. 78 mm	4 : 3	14,765	21,735	330	1,084	850	2,73	2,58	39,7
8			14,805	21,695	350	1,154	968	3,39	2,76	34,1
9			14,98	21,52	400	1,332	1280	4,346	3,20	30,7
4	Wellrohr	4 : 3	15,11	21,14	126	0,428	563,5	1,84	4,47	25,1
5			15,54	20,71	133	0,46	955	3,08	7,18	14,9
6			15,565	20,685	140	0,484	1313	3,92	9,38	11,2
10	glattes Steigrohr 70 mm	3 : 2	14,265	22,235	232	0,737	568	1,778	2,45	41,5
11			14,74	21,76	339,5	1,111	1021	3,38	3,01	32,9
12			14,795	21,705	360	1,188	1254	4,356	3,48	27,2
13	Wellrohr	3 : 2	14,20	22,05	137,5	0,435	558	1,7	4,06	25,6
14			14,59	21,66	143,6	0,464	987	3,178	6,87	14,6
15			14,605	21,645	152,2	0,495	1301	4,46	8,55	11,1
16	glattes Steigrohr 70 mm	1 : 1	17,61	18,89	178	0,698	587,4	1,651	3,30	42,3
17			17,94	18,56	257,5	1,026	992,5	2,98	3,85	35,0
18			18,05	18,45	285	1,143	1330	4,216	4,67	27,2
22	desgl. 78 mm	1 : 1	18,07	18,43	273	1,097	998	2,95	3,66	37,2
23			18,11	18,39	307	1,235	1280	3,98	4,17	31,1
19	Wellrohr	1 : 1	17,40	18,85	95	0,367	592	1,654	6,23	22,2
20			17,465	18,785	108	0,42	946	2,878	8,76	14,6
21			17,49	18,75	120	0,467	1318	4,1	10,90	11,4

Leistung der Pumpe ausübt, beschaffte man für die Borsigsche Pumpe auch ein solches Fussstück und prüfte die Pumpe mit beiden Fussstücken unter sonst gleichen Verhältnissen. Es ergab sich hierbei, dass bei Zuführung grösserer Luftmengen, also auch bei grösserer Leistung der Pumpe, ein Unterschied nicht eintrat, dass aber bei normaler Wasserlieferung das Borsigsche Fussstück bedeutend überlegen war, indem es rd. 25% mehr Wasser lieferte. Diese Erscheinung dürfte ihre Erklärung dadurch finden, dass das Fussstück Borsigscher Bauart die Luft dem Steigrohr am ganzen Umfang zuführt und dadurch das im Steigrohr enthaltene Wasser vollkommen mit Luftblasen durchsetzt.

Fig. 34.

Nach Beendigung dieser Versuche wurde in demselben Brunnen die endgültig im Maschinenlaboratorium verbleibende Mammuthpumpe von 78 mm Durchmesser des Steigrohres eingebaut, Fig. 26 und 27, wobei die Eintauchtiefe rd. 15 m und die Förderhöhe rd. 7,5 m betrug.

Mit dieser Pumpe wurden die in Tabelle II enthaltenen Versuchswerthe gewonnen, die insofern von Bedeutung sind, als es dabei möglich war, die zugeführten Luftmengen durch Verwendung eines zweiten Luftcompressors erheblich zu steigern.

Tabelle II.

Versuch Nr.	geförderte Wassermenge l/min	Förderhöhe F m	Eintauchtiefe E m	Luftmenge bei atm. Pressung l/min	Luftmenge pro Liter Wasser l
24	110	7,5	15	216	1,96
25	300	7,5	15	526	1,75
26	365	7,5	15	796	2,18
27	390	7,5	15	823	2,11
28	426	7,5	15	1255	2,94
29	440	7,5	15	1431	3,25
30	440	7,5	15	1580	3,59
31	440	7,5	15	1620	3,68
32	400	7,5	15	3000	7,50

Während es sich bei den vorstehend mitgetheilten Versuchen um verhältnissmässig geringe Wassermengen und mässige Förderhöhen handelte, wurden in den Anlagen zu Glogau und Zwickau solche mit grossen Wassermengen und in Brostowo und Saaralben solche mit grossen Förderhöhen ausgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle III enthalten.

Tabelle III.

	Versuch Nr.	Eintauchtiefe E m	Förderhöhe F m	Eintauchtiefe : Förderhöhe E : F rd	Steigrohr-Durchmesser mm	Luftrohr-Durchmesser mm	geförd. Wassermenge l/min	wirkl. Leistung in gehob. Wasser PSe	volum. Wirkungsgrad der Compressoren	Luftmenge bei atm. Pressung l/min	mittlere Min.-Umdr. des Compressors	mittlerer Druck im Windkessel Atm	ind. Dampfcyl.-Arbeit PSi	ind. Luftcyl.-Arbeit PSi	Wirkungsgrad zwischen ind. Compr.-Arbeit und ind. Dampfcyl.-Arbeit %	Luftbedarf bei atm. Pressung pro Liter Wasserförderung l	Wirkungsgrad zwischen Arbeit in geförd. Wasser und ind. Compr.-Arbeit %	Geschwindigkeit des Wassers beim Eintritt in das Steigrohr m/sec
Zuckerfabrik Glogau	33	28,92	13,08	2 : 1	160	76	2106,0	6,13	0,92	6160	50	3,1	30,985	27,17	88,8	3,20	22,3	1,75
	34	28,81	13,69	2 : 1	160	76	2806,6	8,54	0,91	8000	65	3,05	40,43	35,12	86,9	2,85	24,3	2,32
	35	28,92	13,08	2 : 1	160	76	2925	8,5	0,92	9370	76	3,08	50,155	42,54	84,6	3	20,1	2,43
	36	28,92	13,08	2 : 1	160	76	3022	8,79	0,90	12120	99	3,32	70,645	59,16	83,6	4,01	14,8	2,51
Kammgarnspinnerei Zwickau	37	19,3	13,69	3 : 2	192	125	4070	12,1	0,90	11110	125	2,05	—	42	—	2,74	28,8	2,31
Gut Brostowo bei Friedheim	38	92,0	61,6	3 : 2	51	25	166	2,27	0,90	800	100	9,5	—	10,52	—	4,82	21,6	1,4
Solvay-Werke Saaralben	39	123,0	70,0	3 : 2	62	34	24,96	3,88	0,90	1280	100	12	—	19,1	—	5,12	20	1,5

Da die Luft auf dem Wege durch das Förderrohr expandirt, so war anzunehmen, dass sie angesichts der innigen Mischung dem geförderten Wasser Wärme entziehen würde. Dies wurde bei den Versuchen in Glogau bestätigt, wo es möglich war, die Temperatur des Wassers beim Eintritt und Austritt aus dem Steigrohr zu messen. Die Abkühlung war jedoch mit Rücksicht auf die grossen Unterschiede in der specifischen Wärme zwischen Wasser und Luft

sehr geringfügig; es wurde festgestellt, dass sich die durch die Pumpe gehobene Wassermenge von 2 cbm/min von + 3,5° auf + 2,5°, also um 1° abkühlte.

Beurtheilung der Versuchsergebnisse.

Aus den Versuchen geht zunächst hervor, dass die von den Druckluftwasserhebern bewältigte Wassermenge weite Grenzen zulässt. Die grösste bis jetzt ausgeführte Pumpe in Zwickau fördert 4 cbm/min. Der Vergleich zwischen den Versuchen 11 und 37, bei denen Förderhöhe und Eintauchtiefe annähernd gleich und nur die Grössenverhältnisse der Pumpen verschieden sind (minutl. 339,5 bezw. 4070 l), ergibt, dass die pro Liter geförderten Wassers benöthigte Luftmenge und somit auch der Wirkungsgrad in beiden Fällen nahezu übereinstimmen. Es darf daher angenommen werden, dass für alle Grössenverhältnisse bei Förderhöhen von 5 bis etwa zu 15 m pro Liter geförderten Wassers 2 bis 3 l Luft atmosphärischer Pressung zu rechnen sind.

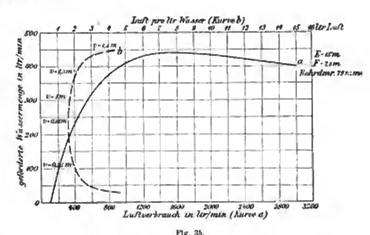


Fig. 35.

Dies wird auch durch die Versuche 33 und 34 (Glogau) bestätigt. Wenn jedoch hier der Wirkungsgrad ungünstiger ist, so liegt das an der gewählten grösseren Eintauchtiefe. Während die Förderhöhen bei Zwickau und Glogau nahezu gleich sind, sind die Eintauchtiefen um rd. 10 m verschieden; da die grössere Eintauchtiefe eine höhere Verdichtung der Luft bedingt und somit einen grösseren Arbeitsaufwand erfordert, ohne dass die Leistung der Pumpe in gleichem Maasse steigt, so erklärt sich hieraus der schlechtere Wirkungsgrad der Glogauer Anlage.

Es ist deshalb günstig, die Eintauchtiefe möglichst klein zu wählen. Es kann angenommen werden, dass in der Regel das Verhältniss von Eintauchtiefe zu Förderhöhe 1 : 1 bis 3 : 2 bei den Druckluftwasserhebern zweckmässig erscheint.

Mit zunehmender Förderhöhe steigt der Luftverbrauch, und dementsprechend sinkt der Wirkungsgrad. Bei der grössten bis jetzt ausgeführten Förderhöhe von über 60 m sind pro Liter geförderten Wassers rd. 4 bis 5 l Luft aufzuwenden.

Aus den Versuchen ergibt sich ferner, dass bei den Druckluftwasserhebern die geförderte Wassermenge mit Vergrösserung der zugeführten Luftmenge zunimmt. Es ist dies deutlich

aus der in Fig. 35 dargestellten Curve *a* zu entnehmen, die aus den Versuchen der Tabelle II (Hochschule) gewonnen ist. Dieses Diagramm lässt erkennen, dass die geförderte Wassermenge bei Steigerung der Luftzufuhr anfänglich bis zu einem gewissen höchsten Werth zunimmt, dann jedoch bei weiterer Steigerung der Luftmenge wieder abnimmt.

Dieser Verlauf der Curve ist auch bei grösseren Pumpen (siehe Fig. 36, Glogau) derselbe; indessen war es nur bei den Versuchen der Tabelle II möglich, soviel Luft zuzuführen, dass die Abnahme der Wassermenge thatsächlich festzustellen war. Bei den anderen Versuchen konnte die Luftzuführung nur bis zum wagerechten Verlauf der Curve gesteigert werden.

Die Curve *b*, Fig. 35, zeigt ferner, dass die wirthschaftlich g ü n s t i g s t e Leistung bei g e r i n g e r Beanspruchung der Pumpe erreicht wird. Der verhältnissmässig geringste Luftverbrauch wird hier bei der Förderung von 250 ltr/min mit 1,65 l Luft pro Liter Wasser erzielt; jedoch übersteigt der Luftverbrauch zwischen den Fördermengen von 50 und 400 ltr/min Wasser nicht 2,5 l Luft, so dass die Pumpe für diese Fördermengen benutzt werden kann, ohne ungünstig zu arbeiten.

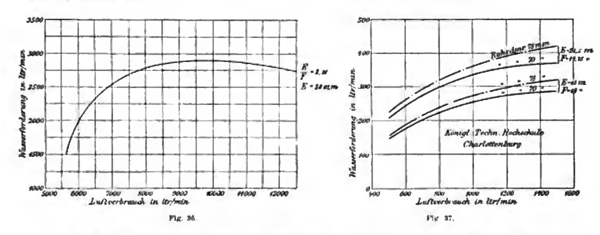


Fig. 36. Fig. 37.

Es ist daher möglich, bei dieser Pumpe von 78 mm Rohrdurchmesser die Wassermenge innerhalb ziemlich weiter Grenzen (50 bis 400 ltr/min) durch Verändern der zugeführten Luftmenge zu regeln, ohne dass das Verhältniss von Luft- und Wassermenge sich wesentlich von dem günstigsten Werth entfernt. Der Verlauf der Curve zeigt jedoch auch deutlich, dass eine Steigerung der Wassermenge über 450 ltr/min den Luftverbrauch sehr ungünstig beeinflusst.

Die Möglichkeit, die Wassermenge mittels der zugeführten Luftmenge zu regeln, ist, wie die Versuche dargethan haben, auch bei grösseren Pumpen vorhanden, jedoch liegen hier die Grenzen näher zusammen. So z. B. findet durch die Verdopplung der Luftmenge bei Glogau nur eine Steigerung bis auf 3022 l statt.

Der Einfluss des Rohrquerschnittes auf die geförderte Wassermenge unter sonst gleichen Verhältnissen hat nur bei einigen Versuchen der Tabelle I festgestellt werden können und ist aus dem Diagramm, Fig. 37, ersichtlich. Unter sonst gleichen Verhältnissen wird hier durch Vergrössern des Rohrdurchmessers von 70 auf 78 mm eine Mehrleistung an Wasser von rd. 1,2 % erzielt, während der Zuwachs an Rohrquerschnitt 20 % beträgt. Dies bestätigt, wie schon aus Curve *b*, Fig. 35, hervorging, die Thatsache, dass eine gering beanspruchte Pumpe am

günstigsten arbeitet. Die Beanspruchung darf jedoch wieder nicht unter ein gewisses Maass sinken, da dann der relative Luftverbrauch erheblich steigt.

Die in den verschiedenen Anlagen ermittelten Wassergeschwindigkeiten beim Eintritt des Wassers in das Steigrohr, also vor dem Fussstück, ergaben eine Geschwindigkeit von rd. 1,5 bis 2,5 m/sec. Diese Geschwindigkeiten wird man mit Rücksicht auf den günstigsten Wirkungsgrad klein zu halten haben; man bleibt daher jetzt, wenn irgend möglich, unter 1,5 m/sec.

Als günstigster Wirkungsgrad zwischen der indicirten Compressorleistung und der Leistung in gehobenem Wasser wurden bei Versuch Nr. 1 in Tabelle I 45 % ermittelt, ebenfalls bei geringer Beanspruchung der Pumpe (siehe Diagramm, Fig. 38). Bei Zunahme der geförderten Wassermenge sank der Wirkungsgrad herab bis auf etwa 28 %. Ebenso sinkt der Wirkungsgrad bei Förderung grösserer Wassermengen und bei Ueberwindung grösserer Förderhöhen, bei den letzteren schon deshalb, weil hier auch die Luftmengen erheblich zunehmen.

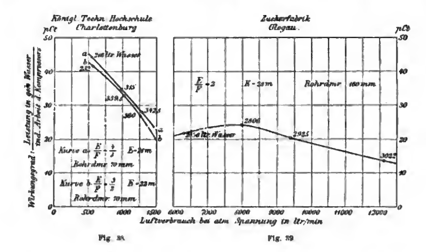


Fig. 38. Fig. 39.

So wurden bei der Zuckerfabrik Glogau, Fig. 39, als günstigster Werth 24 %, bei der Kammgarnspinnerei Zwickau 28 %, bei Brostowo 22 % ermittelt.

Allerdings waren die bei den Versuchen zur Verfügung stehenden Compressoren mittelmässiger Bauart. Bei Verwendung richtig gebauter Compressoren mit geringen Ventilwiderständen und von Verbundcompressoren bei grösseren Drücken würden die Wirkungsgrade noch um einige Procent besser werden; immerhin sind sie derart, dass die Druckluft-Wasserheber mit Vortheil angewendet werden. Dies ist namentlich der Fall, wenn es sich um die Förderung aus tiefen Bohrlöchern und um Wasserförderanlagen für Fernbetrieb handelt. Namentlich in letzterem Falle geben die Pumpen die Möglichkeit, einen ausserordentlich einfachen und sicheren Betrieb zu erzielen, der auch in Bezug auf den Wirkungsgrad erfolgreich mit anderen Kraftübertragungsanlagen in Wettbewerb treten kann.

Ein lehrreiches Beispiel dieser Art ist die Wasserversorgung der Stadt Oppeln. Hier treibt eine liegende Verbunddampfmaschine auf der einen Seite durch die verlängerte Kolbenstange des Hochdruckcylinders eine doppeltwirkende Hochdruckpumpe und auf der anderen

Seite durch die verlängerte Kolbenstange des Niederdruckcylinders einen Luftcompressor mit Schiebersteuerung an, der die Druckluft für den gemeinsamen Betrieb von fünf Mammuthpumpen liefert.

Während die Hochdruckpumpe das Wasser in den Hochbehälter hebt, haben die Mammuthpumpen die Aufgabe, das Wasser aus den Tiefbrunnen der Hochdruckpumpe zuzuführen. Aus jedem von den fünf Bohrbrunen, die von der Maschinenstube in gerader Richtung in Abständen von 23 m für Brunnen I, 71 m für Brunnen II, 139 m für Brunnen III, 207 m für Brunnen IV und 275 m für den z. Z. noch nicht ausgebauten Brunnen V liegen, werden durch die Mammuthpumpen je 700 l Wasser in der Minute, also insgesammt 3500 ltr/min. entnommen.

Der natürliche Grundwasserstand im Zustande der Ruhe befindet sich bei allen fünf Brunnen 20 m unter Maschinenstubenflur. Bei einer Wasserentnahme von je 700 ltr/min senkt sich der Wasserspiegel in den einzelnen Brunnen um 2 m. Die Mammuthpumpen giessen in einen über jedem Brunnen aufgebauten Behälter aus, dessen Oberkante 6 m über Maschinenstubenflur liegt. Das gehobene Wasser fliesst von hier, nachdem es entlüftet ist, durch natürliches Gefälle den Rieselern einer Enteisenungsanlage zu.

Die gleichmässige Zuströmung von Druckluft zu den einzelnen Mammuthpumpen wird durch in den Brunnen angebrachte Schwimmer geregelt, welche die in die Luftabzweigungsleitungen eingeschalteten Drosselklappen bethätigen. Die ganze Anlage kam Anfang August 1897 in Betrieb und hat sich bisher gut bewährt.

Bei der Wasserversorgung der Zuckerfabrik Glogau hätte man das Wasser auch durch Pumpen gewöhnlicher Bauart beschaffen können, wenn man eine Saugleitung von 430 m Länge ausgeführt und die Pumpen auf der Fabrik in einem Schacht 8 bis 10 m tief angeordnet hätte. Das wäre bei der grossen zu beschaffenden Wassermenge in der Anlage kostspielig geworden. Wollte man daher die Ausführung des Schachtes vermeiden, so mussten Zubringepumpen an der Wasserentnahmestelle aufgestellt werden, die elektrisch oder mittels Druckluft zu betreiben waren.

Bei elektrischem Betrieb wäre es nöthig gewesen, am Ufer der Oder auf schlechtem Baugrund ein Pumpenhaus zu erbauen und gegen Hochwassergefahr zu sichern. Das hätte an sich schon ganz erhebliche Kosten verursacht. Hierzu kamen nun noch die Anschaffungskosten der Pumpen, die am günstigsten durch Drehstrommotoren hätten betrieben werden können. Wenngleich es möglich gewesen wäre, die Bauart der Pumpen so einzurichten, dass sie ohne Wärter von dem Krafthause in der Zuckerfabrik aus hätten in Betrieb gesetzt werden können, so wäre doch eine Wartung der Pumpen an der Wasserentnahmestelle nicht ganz zu entbehren gewesen. Der Wirkungsgrad der Anlage bei elektrischem Betrieb würde sich auf etwa 45 bis 50 % gestellt haben.

Hätte man an Stelle eines Elektromotors einen Druckluftmotor aufgestellt, so wäre die Anlage in Bezug auf Wartung und Betrieb wesentlich ungünstiger geworden. Der Wirkungsgrad der Druckluftanlage würde sich zu etwa 30 % berechnen, da Vorwärmung der Druckluft in der Pumpenstube natürlich ausgeschlossen gewesen wäre.

Die mit den Mammuthpumpen erreichte Wirthschaftlichkeit ist etwa dieselbe wie bei Verwendung von Druckluftmotoren. Die Druckluft-Wasserheber haben jedoch sowohl vor dem elektrischen wie vor dem Druckluftmotor-Betriebe neben dem Vortheile der viel grösseren Einfach-

heit noch den schätzbaren Vorzug, dass sie durchaus keiner Wartung zum Inbetriebsetzen und zur Unterhaltung bedürfen. Dies fällt um so mehr ins Gewicht, als es bei dem Zuckerfabrikbetrieb nicht auf grosse Dampfersparniss ankommt, da der Abdampf zu Heizzwecken verwendet wird.

Hierzu kommt noch, dass die Anlage von Druckluft-Wasserhebern in der Herstellung billiger wird. Der Bau kostspieliger Pumpenstuben fällt ganz weg. Es sind weniger Maschinen zu verwenden, in Folge dessen ist auch grössere Betriebssicherheit gewährleistet. Die bis jetzt mit der Anlage im Ganzen gemachten Erfahrungen rechtfertigen vollständig die Wahl der Mammuthpumpen.

Es ist nicht ausgeschlossen, dass es durch Verbesserung der Compressoren, durch geeignete Wahl der Eintauchtiefe, Förderhöhe und des Rohrquerschnittes gelingt, den Wirkungsgrad der Druckluft-Wasserheber noch etwas zu verbessern. Indessen dürfte schon jetzt feststehen, dass dieselben überall da ihre volle Berechtigung haben, wo es sich um Fernbetrieb und um möglichst grosse Betriebssicherheit und Einfachheit, sowie um Ueberwindung grosser Saughöhen handelt.





